



Tópicos Especiais em **ENGENHARIA:**

inovações e avanços tecnológicos
Vol. 12

Rômulo Damasclín Chaves dos Santos
(Organizador)



AYA EDITORA

2024

Tópicos Especiais em ENGENHARIA:

inovações e avanços tecnológicos

Vol. 12

Tópicos Especiais em **ENGENHARIA:**

inovações e avanços tecnológicos
Vol. 12

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos
(Organizador)



AYA EDITORA

2024

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Dr. Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

Capa

AYA Editora©

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora©

Imagens de Capa

br.freepik.com

Área do Conhecimento

Engenharias

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof.º Dr. Aknaton Toczek Souza

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

Instituto Federal do Amapá

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP

Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva

Centro Universitário FACEX

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chiroli

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª Ma. Denise Pereira

Faculdade Sudoeste – FASU

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

Universidade Federal do Paraná

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

Universidade Federal do Amapá

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

Universidade Estadual de Londrina

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

Faculdade Santa Helena

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

Universidade Federal de Roraima

Prof.º Me. Jorge Soistak

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

Universidade Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

Faculdade Santana

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues

Universidade Norte do Paraná

Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa

Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda

Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes

Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira

Instituto Federal do Acre

Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail

Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

Universidade Federal do Piauí

**Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros
Rodrigues**

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira
Miranda Santos**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues

Instituto Federal de Santa Catarina

© 2024 - **AYA Editora** - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Os autores detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, o qual reflete única e inteiramente a sua perspectiva e interpretação pessoal. É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se ao serviço de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro, devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

T757 Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos [recurso eletrônico]. / Rômulo Damasclin Chaves dos Santos (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2024. 192 p.

v.12

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-558-7

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Hidrogênio como combustível. 3. Energia limpa. 4. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.) - Inovações tecnológicas. 5. Indústria de reciclagem. 6. Engenharia elétrica. 7. Logística empresarial. 8. Ecologia agrícola. 9. Cana-de-açúcar. 10. Engenharia metalúrgica. I. Santos, Rômulo Damasclin Chaves dos. II. Título

CDD: 620.007

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação..... 12

01

Os benefícios do PCBN aplicado ao processo de usinagem de aços duros..... 13

Fernando Tavares Pereira
Pedro Henrique Miranda
Pedro Leonardo de Sousa Silva
Jarbas Gofinet Pasoto

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.1

02

Importância da conservação e manutenção de Máquina Universal de Ensaios 26

Rafael Germano
André Gonçalves Corrêa
João Lopes de França
Jarbas Gofinet Pasoto

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.2

03

Hidrogênio verde: potência econômica e social brasileira em desenvolvimento 37

Júlio Catta Prêta Lemos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.3

04

Caracterização de placa bipolar de eletrolisadores alcalinos para produção de hidrogênio 41

Victor Alejandro Rivarola Balbuena
Carlos Roberto Mendonça da Rocha
Rodrigo Leonardo de Oliveira Basso
Angel Ambrocio Quispe

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.4

05

Biomassa fúngica e resíduo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) no tratamento eficiente e sustentável de efluente têxtil 59

André Felipe Santos Lima
Marcos Antônio Cavalcanti Luna
Adriana Ferreira de Souza
Marcos Antônio Barbosa de Lima
Galba Maria de Campos-Takaki

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.5

06

A influência da matéria orgânica do resíduo doméstico na indução das mudanças climáticas..... 70

Adriana Adrielle Lima Pinto
Luiz Henrique Rodrigues
Artur Pereira Dutra
Leidson Ramos de Sousa
João Vitor da Silva Chagas
Eliana Cristina Barreto Monteiro
Galba Maria de Campos-Takaki

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.6

07

Separação de materiais recicláveis com inteligência artificial..... 82

João Alves Rodrigues Pereira
Agrimar Pinheiro de Moura
Mike de Jesus Oliveira
Antônio Carlos Santos de Arruda
Fabio Yoshiaru Noguti

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.7

08

Análise dos processos de produção e entrega de marmitas com auxílio de ferramentas de simulação computacional..... 99

Gessica Maria Marques da Silva
Nádia Beatriz Olívio
Evandro Antônio Bertoluci

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.8

09

Uniqueness and regularity of solutions to integral equations in irregular domains using Slobodetskii norms and fractional Sobolev spaces..... 109

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.9

10

Detecção de enzimas de interesse biotecnológico e industrial em fungos isolados de solos de jardins 119

Lucas Eduardo S. Freitas Lima
Virginia M.P. de Melo Macêdo
Idalvani Raabe da Silva
Arthur Eboli Leocadio
Vinicius Holanda de Paiva
Adriana Ferreira de Souza
Marcella Estanislau
Pamello Pablo Martins
André Felipe Santos Lima
Galba Maria de Campos-Takaki

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.10

11

Corrosão induzida microbiologicamente (CIM) em estruturas metálicas: métodos de prevenção e controle 130

Felipe Casa Nova Furtado
Eliana Cristina Barreto Monteiro
Galba Maria de Campos-Takaki

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.11

12

Agregação do solo em florestas e savanas convertidas em pastagem na Amazônia 138

Diego Lima de Souza Cruz
Anna Bárbara de Souza Cruz

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.12

13

Oportunidades e desafios da difusão de veículos elétricos no Brasil 155

Edson Luiz Alves de Oliveira
Tiago Pracidini de Almeida
Emanuel Vedovetto Santos
Paschoal Molinari Neto

DOI: 10.47573/aya.5379.2.340.13

Organizador 184

Índice Remissivo 186

Apresentação

É com prazer que apresentamos o Volume 12 de **“Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos”**. Este livro reúne estudos sobre os desenvolvimentos mais recentes e importantes em diversas áreas da engenharia, desde usinagem de materiais até sustentabilidade ambiental.

Começamos com o uso de PCBN na usinagem de aços duros, destacando a eficiência e precisão deste método. Em seguida, discutimos a importância da conservação e manutenção das Máquinas Universais de Ensaio para garantir resultados confiáveis.

A transição para fontes de energia sustentáveis é abordada através do potencial do hidrogênio verde no Brasil e da caracterização de placas bipolares em eletrolisadores alcalinos. Também exploramos o uso de biomassa fúngica e resíduos de cana-de-açúcar no tratamento de efluentes têxteis, contribuindo para a redução da poluição industrial. A gestão de resíduos domésticos e sua relação com as mudanças climáticas também são discutidas.

A aplicação da inteligência artificial na separação de materiais recicláveis e a análise de processos de produção e entrega de marmitas com simulação computacional demonstram como a tecnologia pode aprimorar a eficiência e a sustentabilidade.

No campo matemático, abordamos equações integrais em domínios irregulares, utilizando normas avançadas para resolver problemas complexos. Em biotecnologia, destacamos a detecção de enzimas em fungos de solos de jardins para aplicações industriais.

Discutimos ainda a corrosão microbiologicamente induzida em estruturas metálicas, focando em métodos de prevenção e controle. A agregação do solo em áreas da Amazônia convertidas em pastagem é analisada, destacando as implicações ambientais de práticas agrícolas.

Por fim, examinamos as oportunidades e desafios na difusão de veículos elétricos no Brasil, refletindo as tendências de mobilidade sustentável.

Este volume oferece uma visão clara e detalhada das inovações e desafios na engenharia, mostrando a interconexão entre tecnologia, sustentabilidade e eficiência. Esperamos que os leitores encontrem aqui conhecimento útil e inspiração para futuras pesquisas e práticas na área.

Boa leitura!

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Editor Chefe

Os benefícios do PCBN aplicado ao processo de usinagem de aços duros

Fernando Tavares Pereira

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC

Pedro Henrique Miranda

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC

Pedro Leonardo de Sousa Silva

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC

Jarbas Gofinet Pasoto

Orientador. Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC. <https://orcid.org/0000-0002-0694-7137>

RESUMO

O PCBN é um dos materiais mais duros conhecidos, perdendo apenas para o diamante em dureza. É criado pela combinação de nitrogênio e boro sob altas temperaturas e pressões, resultando em um composto que é altamente resistente ao desgaste e à temperatura. Isso torna o PCBN ideal para a usinagem de aços duros, que podem ser particularmente abrasivos e resistentes a ferramentas convencionais. Este trabalho visa apresentar e explicar a aplicação do PCBN em usinagem de materiais duros, suas etapas de fabricação e os seus benefícios aplicados ao processo de usinagem. A referente pesquisa possui uma abordagem exploratória e descritiva, com embasamento bibliográfico, em que utilizará fundamentos teóricos a respeito dos benefícios do PCBN aplicado ao processo de usinagem de aços duros. Concluiu-se que o PCBN, apesar das vantagens decorrentes da alta dureza, apresenta alguns desafios. Sua aplicação requer equipamentos rígidos, pois vibrações e folgas podem causar quebra prematura da ferramenta, devido à sua baixa tenacidade em relação ao metal duro, por exemplo.

Palavras-chave: ferramentas de corte; indústria; PCBN.

ABSTRACT

PCBN is one of the hardest materials known, second only to diamond in hardness. It is created by combining nitrogen and boron under high temperatures and pressures, resulting in a compound that is highly resistant to wear and temperature. This makes PCBN ideal for machining hard steels, which can be particularly abrasive and resistant to conventional tools. This work aims to present and explain the application of PCBN in machining hard materials, its manufacturing steps and its benefits applied to the machining process. The related research has an exploratory and descriptive approach, with a bibliographical basis, in which it will use theoretical foundations regarding the benefits of PCBN applied to the hard steel machining



process. It was concluded that PCBN, despite the advantages arising from high hardness, presents some challenges. Its application requires rigid equipment, as vibrations and looseness can cause premature breakage of the tool, due to its low toughness in relation to hard metal, for example.

Keywords: cutting tools; industry; PCBN.

INTRODUÇÃO

O processo de usinagem é comumente utilizado na fabricação de componentes para diversos setores industriais. Estima-se que aproximadamente 15 a 20% de todo o aço produzido no mundo seja transformado e removido por meio de usinagem na forma de cavacos. A tendência global na indústria de usinagem é produzir peças complexas com tolerâncias dimensionais/ geométricas bem definidas, excelente acabamento superficial, baixo custo e mínimo impacto ambiental (Almeida, 2010).

De acordo com Walker (1996), a usinagem tem sido um processo de fabricação muito popular devido à sua alta produtividade. É dividido principalmente em torneamento, fresamento e retificação, que podem ser controlados manualmente ou por computador. As principais vantagens desses processos são altas tolerâncias e qualidades superficiais. As empresas que necessitam deste processo produtivo são encontradas nos seguintes setores: indústria automobilística, metalurgia e siderurgia. As peças fabricadas podem variar em tamanho de milímetros a dimensões superiores a dezenas de metros.

Segundo Machado *et al.* (2011), a definição da ferramenta e dos parâmetros de corte utilizados garantem produtividade e confiabilidade, além de reduzir a necessidade de trocas excessivas de ferramentas de corte. Por outro lado, o uso indevido desses dados combinados, como velocidade de corte, profundidade de corte e avanço, compromete a integridade física da ferramenta, a qualidade do produto e, conseqüentemente, aumenta o custo de produção. Esses dados variam de acordo com o material e ferramenta, em que a gama de materiais envolvidos varia entre metais ferrosos e não ferrosos, destacando-se aços, ferros fundidos, alumínio e bronze para o primeiro grupo e polímeros para o segundo grupo. Quanto à ferramenta, são de corte único ou multicorte, podendo trabalhar em um estado estacionário ou rotativo.

Neste contexto, o uso de ferramentas adequadas é essencial para garantir resultados satisfatórios. O PCBN (Nitreto Cúbico de Boro Policristalino, em inglês) destaca-se como uma opção altamente eficiente e vantajosa para a usinagem de aços duros.

O PCBN é a sigla para Nitreto Cúbico de Boro Policristalino (*Poly Crystalline Cubic Boron Nitride*), um material extremamente duro e resistente usado na fabricação de ferramentas de corte. Ele é composto por grãos de nitreto cúbico de boro, sintetizados sob alta pressão e temperatura, e ligados por um material cerâmico. Essa estrutura cristalina confere ao PCBN propriedades superiores em relação a outras ferramentas de corte, como alta resistência ao desgaste, dureza e tenacidade. Devido a essas características, o PCBN é amplamente utilizado na usinagem de aços duros, proporcionando resultados de alta

qualidade e eficiência.

Objetivo Geral

Apresentar e explicar a aplicação do PCBN em usinagem de materiais duros, suas etapas de fabricação e os seus benefícios aplicados ao processo de usinagem.

Objetivos Específicos

- Avaliar o Impacto do PCBN na Eficiência de Usinagem de Aços Duros
- Explorar as Aplicações do PCBN em Diferentes Indústrias;
- Investigar a Resistência ao Desgaste e a Vida Útil de Ferramentas de PCBN;

Justificativa

A escolha de pesquisar sobre o tema dos benefícios do PCBN (Nitreto Cúbico de Boro Policristalino) aplicado ao processo de usinagem de aços duros é justificada por algumas razões, como:

- Crescimento da Indústria de Manufatura Avançada

A indústria de manufatura avançada, que inclui as indústrias automotiva, aeroespacial e de energia, está em constante desenvolvimento. Essas indústrias geralmente processam aços duros e outros materiais vestíveis que exigem facas de alta qualidade. A pesquisa do PCBN pode levar a processos de reciclagem mais eficientes e econômicos que beneficiarão toda a indústria.

- Necessidade de Aumentar a Eficiência de Produção

À medida que as empresas buscam maior produtividade e menor custo, a eficiência do processo de usinagem torna-se crucial. O uso de ferramentas de PCBN tem o potencial de reduzir o tempo de produção, minimizar o número de trocas de ferramentas e melhorar a qualidade do produto final, o que justifica a investigação detalhada sobre esse tema.

Com base nessas justificativas, a pesquisa sobre os benefícios do PCBN aplicado ao processo de usinagem de aços duros é relevante e necessária para responder aos desafios modernos da indústria, aumentando a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade nos processos de fabricação.

Delimitação do Projeto

A pesquisa será centrada nos seguintes aspectos:

- Tipo de Material

O foco estará na usinagem de aços duros, com dureza acima de 45 HRC (Rockwell C). A investigação não incluirá outros tipos de materiais metálicos ou não metálicos.

- Aplicações Industriais

A pesquisa será direcionada a indústrias que utilizam aços duros em processos de fabricação, como automotiva, aeroespacial e de moldes. Outras indústrias serão mencionadas apenas como contexto, sem aprofundamento.

- Processos de Usinagem

O projeto analisará processos de usinagem que utilizam ferramentas de PCBN, como torneamento, fresamento e furação. Outras técnicas de fabricação, como soldagem e fundição, não serão consideradas.

- Vida útil das ferramentas.

Qualidade do acabamento superficial (rugosidade, precisão dimensional).

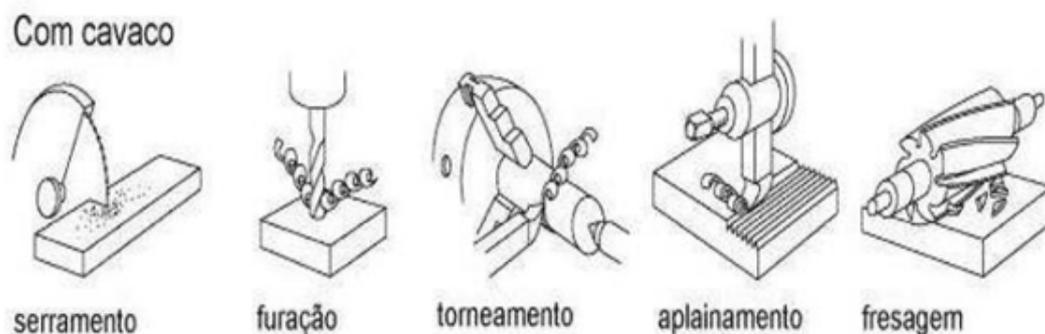
REVISÃO DA LITERATURA

Processo de Usinagem

Vários autores oferecem diferentes definições de processamento. Uma descrição simples e muito abrangente é a seguinte: um processo mecânico de fabricação que permite obter acabamento, tamanho, forma ou até mesmo uma combinação desses três, removendo material e permitindo a produção de cavacos (Machado *et al.*, 2011). Um cavaco, que é um subproduto da usinagem, tem uma geometria irregular e pode ser definida como parte do material da peça que a ferramenta remove durante a operação.

Segundo Jesus (2004), os processos de produção por remoção de materiais são geralmente chamados de processos de processamento, conforme mostra a Figura 1, e são considerados secundários porque atuam como matérias-primas previamente obtidas por meio de processos primários como: dissolução, formação, laminação, soldagem e extrusão. Na produção de peças ou componentes, é raro que cada um destes processos exista separadamente. Porque é um processo secundário, a edição geralmente atua como um processo adicional a outros processos.

Figura 1 - Processo de fabricação por remoção.



Fonte: Jesus (2004).

Jesus (2004) assegura que o processo de beneficiamento difere dos processos de deformação plástica por não haver perda de matéria-prima durante o processo de beneficiamento. No processamento, restauração uma peça ou produto significa remover parte do material original e dependendo do tipo de processo, este o material é removido na

forma de lascas ou partículas.

A principal vantagem dos processos de usinagem em relação a outros processos é a possibilidade de obtenção de perfis diferentes e complexos de peças com dimensões e tolerâncias muito estreitas (Jesus, 2004). Segundo Baptista (2002), usinagem é um termo abrangente para processos de fabricação mecânica onde as superfícies são criadas removendo o material que dá tamanho e forma à peça. Uma definição muito ampla de usinagem é uma operação que dá uma peça com sua forma, tamanho ou superfície, ou qualquer combinação desses três elementos, para produzir chips.

Ao trabalhar com metal, a ferramenta penetra no material da peça no início do corte e deforma-a elásticamente e plasticamente. Em breve, este material excederá a tensão de cisalhamento máxima do material e começará a fluir. Dependendo da geometria da gravação, o material deformado começa a se formar um chip que desliza na superfície da tábua de corte. O tratamento do material antes deste descreverá sua capacidade de ser tratado no processo de tratamento (Baptista, 2002).

Segundo Baptista (2002), as ferramentas mais comuns utilizadas na usinagem de aço são o aço rápido e o metal duro. O limite para o uso de ferramentas de aço rápido é a dureza de 300 HV. Para ferramentas de metal duro, este limite é maior do que para outros materiais, ou seja, 500 HV.

Quando ferramentas de aço rápido são usadas, uma cratera é formada devido à expansão plástica e ao corte da superfície. Em velocidades de corte mais altas, as ferramentas podem deformar-se plasticamente sob tensão. Ao usar Carboneto WC + CO (grau K), craterização rápida e desgaste lateral generalizado ocorrem em altas velocidades de corte (Baptista, 2002).

Evolução dos Materiais para Cortes

Encontrar materiais para ferramentas de corte que possam ajustar propriedades como durabilidade e dureza quando essas propriedades colidem é um grande desafio e um problema constante para os fabricantes. Porém, grandes investimentos em pesquisas têm mostrado resultados, pois agora é possível encontrar uma grande quantidade de ferramentas com diferentes composições químicas, tamanhos menores, controle muito preciso do processo de produção e tratamento térmico muito bem controlado, o que permite excelentes resultados. nível de limpeza para a produção de instrumentos de qualidade excepcional (Ribeiro, 2007).

Segundo Ávila (2003), os principais materiais da faca e a época de sua descoberta estão listados na Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Evolução dos materiais de ferramenta.

- AÇOS-CARBONO E AÇOS LIGA – SÉC. XIX;
- AÇOS-RÁPIDOS – 1899;
- LIGAS FUNDIDAS – 1915;
- METAL DURO – 1928;
- CERMET – 1950;
- CERÂMICAS
- Al_2O_3 – 1950;
- Si_3N_4 – 1980;
- ULTRADUROS (PCD/PCBN) – 1970.

Fonte: Ávila (2003).

Materiais de Ferramentas Ultraduros

O diamante natural tem sido usado como ferramenta de corte há centenas de anos porque é o material com maior dureza e resistência ao desgaste da natureza. Possui excelentes propriedades térmicas. Ferramentas diamantadas naturais são usadas principalmente quando é necessária usinagem fina de componentes usinados. Essas ferramentas podem atingir o nível 0.025 micro metro se a máquina tiver dureza suficiente. Por outro lado, é instável e apresenta risco de falha sob impacto, além de alto custo e uso limitado em facas, principalmente após o advento dos diamantes e do CBN sintético, que podem substituí-lo efetivamente (Cruz, 2018).

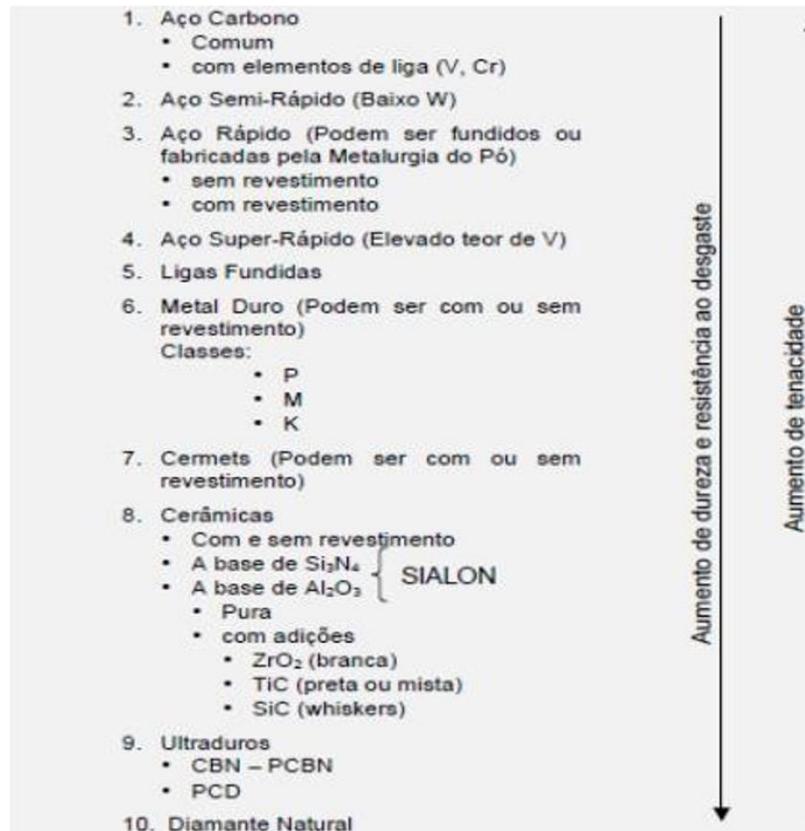
De acordo com Cruz (2018), os requisitos desejados para cortes são: Dureza; Tenacidade; Resistência à compressão; Resistência ao corte; boas propriedades mecânicas e térmicas a altas temperaturas; Resistência ao choque térmico e Inércia química.

Tais características não estão listadas em ordem de importância, pois as características exigidas para uma ferramenta variam muito dependendo da usinagem, do material a ser usinado e dos parâmetros de corte (Amorim, 2003). A Figura 3 mostra as ferramentas disponíveis no mercado. Pode-se observar que esses materiais estão dispostos em ordem crescente de dureza e decrescente de resistência. Com poucas exceções, esta encomenda também representa o avanço tecnológico dos materiais.

No contexto histórico, duas categorias de materiais se destacam, e podem ser considerados os mais importantes para a usinagem, embora não sejam os mais eficientes ou tecnologicamente desenvolvidos. Esses materiais são aços rápidos e metais duros (Amorim, 2003).

De acordo com Amorim (2003), a grande importância dos aços rápidos e dos metais duros se deve ao fato de que, na época do seu desenvolvimento, permitiram os maiores saltos tecnológicos da história dos processos de usinagem, com aumento nas velocidades de corte de uma ordem de grandeza que ocorreu no momento do desenvolvimento de cada um desses materiais, em comparação com os materiais de corte existentes na época. Em aços rápidos, as velocidades de corte aumentaram de aproximadamente 3m/min até 35 m/min, e com o desenvolvimento do metal duro chegaram a 300 m/min.

Figura 3 - Materiais para ferramentas de corte.



Fonte: Amorim (2003).

Ferramentas de Corte

Segundo Yen *et al.* (2004), a ferramenta mecânica da norma ABNT NBR 6175 consiste em arestas de corte com o objetivo de remover o cavaco. Se o instrumento tiver um único nível de saída, ele é chamado de instrumento de disparo único. Se tiver mais de um nível de saída, é chamado de instrumento de múltiplas saídas. A geometria da fresa afeta a usinagem, principalmente o formato da zona de deformação da peça, a distribuição de tensões, a temperatura e o esforço de corte.

Segundo Rodrigues (2005), a ferramenta de corte deve incluir algumas características importantes, como: alta dureza em alta temperatura, alta resistência mecânica e resistência ao desgaste, alta durabilidade, alta resistência ao choque térmico, compressão e alta resistência química. A grande maioria dos materiais utilizados atualmente na indústria atende a alguns dos requisitos acima, mas não todos. Para cada tipo de programa existe um corte especial correspondente.

O desenvolvimento tecnológico do seu processamento levou ao surgimento de novas ferramentas de corte e à necessidade de processar novos materiais. Existem no mercado ferramentas feitas de aço rápido, metal duro (metal duro), revestido ou não, cermet (mistura de cerâmica e metal), cerâmica convencional reforçada com fibras de silício, CBN (carbonetocúbico nitreto) e diamante policristalino (PCD) (Rodrigues, 2005).

Nitreto do Boro Cúbico de Policristalino (PCBN)

Depois do diamante, o CBN é o material mais duro conhecido. É um sintético material obtido pela reação de haletos de boro com amônia (Stemmer, 1995). Abaixo discutiremos as propriedades e vantagens deste material, além do processo de fabricação, razão pela qual vem se tornando cada vez mais importante no mercado de máquinas-ferramenta.

Processo de Fabricação

O nitreto de boro (CBN) não existe na natureza, portanto é um material totalmente sintético. Sua obtenção foi pela primeira vez em 1957 (Schroeter; Weingaertner, 2002). O CBN é produzido na forma de pequenos grãos. Para utilizar ferramentas com determinada geometria, esses grãos devem passar por um ligante que forma blocos policristalinos, ou PCBN, para abreviar. A primeira patente para PCBN nos Estados Unidos foi em 1963 (Monteiro *et al.*, 2013). O nitreto cúbico de boro policristalino (PCBN), portanto, consiste em Grãos de CBN ligados a um ligante cerâmico, metálico ou metálico wurtzita, sob condições muito elevadas de pressão e temperatura. A função do ligante é apenas unir os materiais muito duros Cristais de CBN (Stahl, 2012).

Stahl (2012) descreve as etapas de produção do PCBN da seguinte forma: Na primeira etapa, os grãos de CBN são sintetizados a partir do pó de nitreto de boro na fase hexagonal (hBN), que é submetido a uma temperatura entre 1300 e 1500 °C e uma pressão entre 4 e 6 GPa estão expostos a grãos finos de CBN. Na segunda etapa, os grãos de CBN são misturados com uma proporção precisa de catalisador ou meio e submetido a condições de temperatura e pressão ligeiramente superiores às utilizadas na síntese de grãos de CBN e produção de PCBN.

Características e Benefícios do CBN

Stahl (2012) observa as seguintes propriedades do PCBN:

- Alta Resistência ao Desgaste

A dureza do PCBN permite uma vida útil significativamente mais longa das ferramentas de corte, reduzindo a frequência de trocas de ferramentas e, conseqüentemente, o tempo de inatividade. Isso é crucial para operações industriais onde a eficiência é vital.

- Precisão e Acabamento Superficial

Ferramentas de PCBN mantêm uma borda de corte afiada por mais tempo, proporcionando maior precisão e um acabamento superficial de alta qualidade. Isso é especialmente importante para indústrias como a automotiva e a aeroespacial, onde as tolerâncias são rigorosas.

- Alta Resistência ao Calor

O PCBN é capaz de suportar altas temperaturas sem perder suas propriedades de corte, permitindo que ferramentas feitas desse material operem em velocidades mais altas sem degradação significativa. Isso é especialmente útil para aços duros, que geram muito calor durante a usinagem.

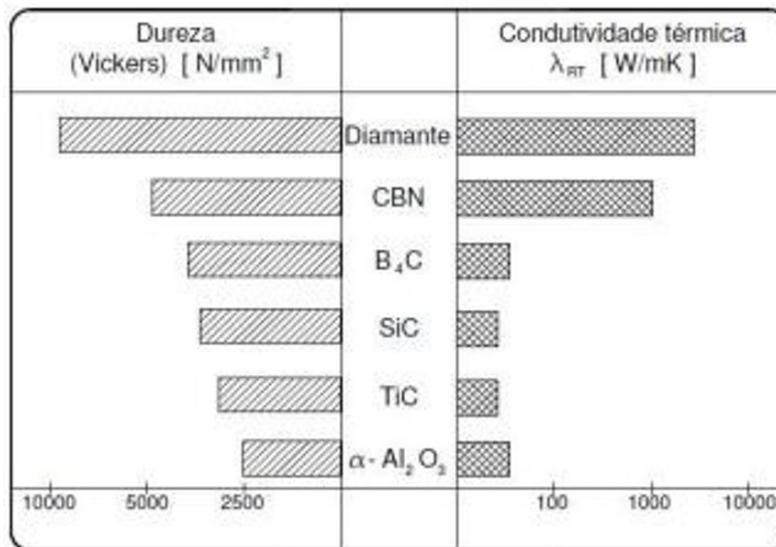
- Redução de Tempo de Ciclo

Devido à sua capacidade de operar em velocidades mais altas e sua resistência ao desgaste, o PCBN pode reduzir o tempo de ciclo do processo de usinagem, aumentando a produtividade e reduzindo custos.

Outra característica importante do CBN é a sua alta estabilidade química, a tendência deste material de se espalhar é muito baixa. A estabilidade química também é evidente em termos de resistência à oxidação. O CBN é estável no ar por muito tempo em temperaturas próximas a 1000 °C e não sofre oxidação (Ortner *et al.*, 2014).

Em termos de dureza, o CBN é o segundo material mais duro depois do diamante. Porém, possui maior estabilidade química que o diamante (Schroeter; Weingaertner, 2002) e é semelhante em dureza à cerâmica. Mas é interessante que a condutividade térmica do CBN é muito alta em comparação com a cerâmica, que é uma grande vantagem.

Figura 4 - Propriedades mecânicas de diferentes materiais.



Fonte: Schroeter; Weingaertner, (2002).

Aplicação do PCBN como Ferramenta de Corte

O PCBN pode ser utilizado com sucesso em diversas operações de usinagem e pode ser utilizado em processos de retificação, torneamento e furação, mesmo em condições mais difíceis, como: corte interrompido. Também é uma alternativa aceitável substituir o processo de retificação pela usinagem de uma determinada geometria em algumas aplicações. (Diniz; Marcondes; Coppini, 1999). O PCBN não é utilizado na forma de ferramentas integradas. Geralmente vem em três formas diferentes: montado em um suporte durável suporte de material, insertos substituíveis ou na forma de finas camadas de revestimento para dispositivos de última geração (Monteiro *et al.*, 2013). PCBN em aplicações intercambiáveis é a forma mais comum de solicitação deste material. Três tipos desses acessórios são oferecidos nos catálogos de fornecedores: soldados no canto da pastilha de metal duro (ponta CBN), em uma das superfícies da pastilha de metal duro (superfície completa) e totalmente formados na forma de pastilhas de PCBN – comercialmente denominado PCBN sólido, mas neste trabalho é referido como PCBN integrado para evitar ambiguidades (Seco, 2015).

A figura 5 mostra os tipos e formas mais comuns de aplicações de PCBN disponíveis comercialmente.



Fonte: Seco (2015).

Devido às suas propriedades, especialmente à sua estabilidade química, o PCBN pode ser utilizado para processar praticamente qualquer material técnico. Porém, só pode ser utilizado economicamente em alguns casos, principalmente devido ao seu alto preço (Diniz; Marcondes; Copini, 1999). São utilizados aqueles em que o diamante policristalino não pode ser utilizado devido à instabilidade química e o metal duro não possui dureza suficiente para a tarefa.

O PCBN é usado principalmente com sucesso na usinagem de aços endurecidos com dureza superior a 45 HRC, aços rápidos, aços para ferramentas, ligas com alta proporção de carbonetos de tungstênio, aços resistentes a altas temperaturas, níquel e cobalto, que são difíceis para maquirar com carboneto. O PCBN também pode ser utilizado em materiais de baixa dureza onde é necessária boa qualidade da superfície usinada com mínima variação dimensional na produção de grandes quantidades de peças padronizadas, como materiais de fundição de perlita (Diniz; Marcondes; Coppini, 1999). Em materiais de baixa dureza que formam cavacos longos, o PCBN se comporta de maneira craterizada devido ao desgaste excessivo.

METODOLOGIA

Partindo das premissas de que a metodologia direciona para um caminho de regras a seguir, para a realização de um determinado trabalho científico, é importante observar que, baseado nos estudos de Gil (2010) o conceito de metodologia, pode ser definido como o estudo do método. Diante disso, a definição de método ser compreendido como [...] “um conjunto de processos necessários para alcançar os fins de uma investigação” (Gil, 2010, p.21). Ainda sobre essas considerações, Lakatos & Marconi (2003) enfatiza que a pesquisa científica é mais que um relatório ou descrição de casos que são levantados com base em experiências, mas sim, uma pesquisa de modo interpretativo.

A finalidade da pesquisa científica não é apenas um relatório ou descrição de fatos levantados empiricamente, mas o desenvolvimento de um caráter interpretativo, no que se refere aos dados obtidos. Para tal, é imprescindível correlacionar a pesquisa com o universo

teórico, optando-se por um modelo teórico que serve de embasamento à interpretação do significado dos dados e fatos colhidos ou levantados (Lakatos e Marconi 2003, p.224).

Portanto, a referente pesquisa possui uma abordagem exploratória e descritiva, com embasamento bibliográfico, em que utilizará fundamentos teóricos a respeito dos Os benefícios do PCBN aplicado ao processo de usinagem de aços duros. Sendo assim, a literatura a ser estudada consiste em autores de revistas e artigos científicas, livros e materiais extraídos de sites de internet.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O PCBN vem ganhando espaço na usinagem como ferramenta de corte de geometria definida devido às suas propriedades. Nas ferramentas de PCBN, pode-se observar que elas correspondem ao que se espera de um bom material de corte: Alta dureza: As ferramentas dePCBN apresentam baixo desgaste devido à deformação plástica e abrasão (Grau moderado de resistência mecânica e tenacidade, tornando-o resistente a fraturas térmicas e mecânicas. Estabilidade química: PCBN apresenta alta resistência à oxidação e difusão.

Portanto, quando aplicado em ferramentas de corte, permite usinar aços e outras ligas ferrosas em altas velocidades de corte, sem perder sua integridade química, condutividade térmica moderada a alta, o que torna seu grau de dissipação de calor suficiente para evitar grandes concentrações na aresta de corte.

A substituição de outros materiais de corte por PCBN é eficaz para alcançar taxas mais altas de remoção de material e prolongar a vida útil da ferramenta. Eles também são caracterizados por melhor controle dimensional na produção em série e melhor qualidade superficial (baixa rugosidade). Nesse contexto, O PCBN torna-se cada vez mais importante na usinagem, especialmente em operações de fresamento, furação e retificação.

A utilização de ferramentas de PCBN com geometria definida substituiu os processos de retificação com vantagens como redução do tempo de processo, redução substancial de custos, melhoria da integridade superficial, redução do uso de fluidos de corte, prejudiciais ao meio ambiente, além da obtenção de geometrias complexas, impossíveis com retificação. Pode-se concluir que o PCBN, apesar das vantagens decorrentes da alta dureza, apresenta alguns desafios. Sua aplicação requer equipamentos rígidos, pois vibrações e folgas podem causar quebra prematura da ferramenta, devido à sua baixa tenacidade em relação aometal duro, por exemplo. Equipamentos de alta rigidez são mais caros. O custo de pastilhasde CBN é superior às do material cerâmico. Portanto, para tornar sua aplicação economicamente viável, são necessários parâmetros de corte de alta produtividade (altas velocidades de corte) e a maioria dos equipamentos de usinagem não atinge.

REFERENCIAS

ALMEIDA, C. M. **Avaliação do Desgaste da Ferramenta de Metal Duro Revestida com no Fresamento do Aço ABNT 4140 Laminado a Quente e Temperado/Revenido.** 2010. Tese

- (Mestrado em Engenharia Mecânica), Programa de Pós-Graduação - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- AMORIM, H. J. **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste da ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramentas de metal duro**. 2003. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) PROMEC, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- ÁVILA, R. F. **Técnicas e Procedimentos de Caracterização de Revestimentos Tribológicos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Apostila. 2003. 52 p.
- BAPTISTA, André Luís de Brito. **Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços**. Rem: Revista Escola de Minas, v. 55, n. 2, p. 103-109, 2002.
- CRUZ, Alexsandro Santos da. Características e propriedades dos materiais de ferramenta de corte empregadas nos processos de usinagem / Alexsandro Santos da Cruz. – São Luís, 2018. 61 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L., **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 1 ed. São Paulo: MM Editora., 1999.
- GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- JESUS, Edilson Rosa Barbosa. **Ferramentas de usinagem em aço rápido AISI M2 obtido por conformação por “spray”**. Tese apresentada como para obtenção em título de Doutor em Tecnologia Nuclear pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2004.
- MACHADO, A. R.; COELHO, R. T.; ABRÃO, A. M.; SILVA, M. B. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. - 5. ed. - São Paulo: Atlas 2003.
- MONTEIRO, S. N.; SKURY, A. L. D.; AZEVEDO, M. G.; BOBROVNITCHIIB, G. S. **Cubic boron nitride competing with Diamond as a superhard engineering material – an overview**. Journals of material research and technology. v.2, ed.1, p. 68-74, 2013.
- ORTNER, H. M.; ETTMAYER, P.; KOLASKA H.; SMIDD, H. **The history of the technological progress of hardmetals**. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. v. 44, p. 148- 159, 2014.
- RIBEIRO, José Luiz Silva. **Fresamento do Aço Vhsuper nos Estados Recozido e Temperado Com Metal Duro e Cermet**. Tese apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica para obtenção de título de Doutor. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- RODRIGUES, Alessandro Roger. **Estudo da Geometria de Arestas de Corte Aplicadas em Usinagem com Altas Velocidades de Corte**. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo para obtenção em título de Doutor em Engenharia Mecânica. São Carlos, 2005.
- SCHROETER, R. B.; WEINGAERTNER, W. L. **Tecnologia da Usinagem com Ferramentas de Corte de Geometria Definida**. Traduzido por Prof. Dr. Eng. Rolf Bertrand Schroeter e Prof. Dr.-Ing. Walter Lindolfo Weingaertner do livro “Fertigungsverfahren –Drehen, Bohren, Fräsen”, de Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c.mult. Wilfried König e Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke. Florianópolis, 2002.
- SECO. **Technical Guide PCBN application**. 2015. Disponível em <[http:// www.secotools.com](http://www.secotools.com)>. Acesso em 22 de abril de 2024.

STAHL, J. **Metal cutting, theories and models**. Sweden: Seco tools, 2012.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte II**: brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos, abrasivos. 2 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

WALKER, J. M. **Handbook of Manufacturing Engineering**. New York: Marcel Dekker 1996.

YEN, Y. C.; JAIN, A.; ALTAN, T. **A finite element analysis of orthogonal machining using different tool edge geometries**. Journal of Materials Processing Technology. v. 146, p. 72-81, 2004.

AGRADECIMENTOS

Agrademos as nossas famílias, amigos e docentes que contribuíram de maneira relevante à elaboração deste trabalho e na nossa vida acadêmica.

Importância da conservação e manutenção de Máquina Universal de Ensaio

Importance of the conservation and maintenance of Universal Testing Machines

Rafael Germano

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC. <https://orcid.org/0009-0006-3156-7140>

André Gonçalves Corrêa

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC. <https://orcid.org/0009-0003-9330-5478>

João Lopes de França

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC. <https://orcid.org/0009-0009-3714-6277>

Jarbas Gofinet Pasoto

Orientador. Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC <https://orcid.org/0000-0002-0694-7137>

RESUMO

Os ensaios mecânicos desempenham um importante papel em diversas áreas, como engenharia, construção e indústria. Esses testes permitem a avaliação das propriedades dos materiais, possibilitando o controle de qualidade, o desenvolvimento de novos produtos, o projeto e dimensionamento de estruturas confiáveis, além da investigação de falhas e análise de desempenho. Ao nos depararmos com uma Máquina Universal de Ensaio imobilizada, surgiu a oportunidade de pesquisar e analisar a importância da manutenção, calibração e conservação desse equipamento. Essas máquinas são fundamentais em muitos laboratórios de testes mecânicos, metrologia e indústrias, pois permitem a realização de uma ampla gama de testes, como ensaios de tração, compressão, flexão e cisalhamento. O objetivo geral desta pesquisa é compreender como a manutenção, conservação e calibração podem aumentar a vida útil do equipamento, a segurança na sua operação e confiabilidade dos resultados dos seus testes, além de identificar métodos eficazes de manutenção e relatar especificidades da máquina. A metodologia utilizada foi um estudo de caso combinado com pesquisa ampla sobre o tema, permitindo aprofundar o conhecimento e contribuir para futuras pesquisas com a mesma temática. A análise inclui obras literárias, artigos e ensaios científicos de autores que abordam sobre ensaios mecânicos, calibração e manutenção.

Palavras-chave: máquina de ensaio universal; manutenção; calibração.



ABSTRACT

Mechanical tests play a significant role in various fields, such as engineering, construction, and industry. These tests allow the evaluation of material properties, enabling quality control, the development of new products, the design and sizing of reliable structures, as well as failure investigation and performance analysis. When we encountered an immobilized Universal Testing Machine, the opportunity arose to research and analyze the importance of maintenance, calibration, and conservation of this equipment. These machines are fundamental in many mechanical testing laboratories, metrology, and industries because they allow for a wide range of tests, such as tensile, compression, bending, and shear tests. The general objective of this research is to understand how maintenance, conservation, and calibration can increase the equipment's lifespan, operational safety, and the dependability of its test results, in addition to identifying effective maintenance methods and reporting specificities of the machine. The methodology used was a case study combined with extensive research on the topic, allowing for deepening the knowledge and contributing to future research with the same theme. The analysis includes literary works, articles, and scientific essays by authors who address mechanical testing, calibration, and maintenance.

Keywords: universal testing machine; maintenance; calibration.

INTRODUÇÃO

A Máquina Universal de Ensaio, também conhecida como Máquina de Testes Universais ou UTM (*Universal Testing Machine*), é um equipamento fundamental na área de engenharia e ciência dos materiais. Essa máquina desempenha um papel crucial na determinação das propriedades mecânicas de diversos materiais, como metais, plásticos, compósitos, concreto, entre outros.

A UTM é projetada para aplicar cargas controladas a uma amostra do material em teste, permitindo a medição precisa de parâmetros como tensão, deformação, módulo de elasticidade, resistência à tração, compressão, flexão e outros. Essa capacidade de caracterizar as propriedades mecânicas dos materiais é essencial para o desenvolvimento de novos produtos, a melhoria de processos de fabricação e a garantia da qualidade e segurança de componentes estruturais.

Existem diferentes tipos de máquinas universais de ensaios, cada uma projetada para atender às necessidades específicas de determinadas aplicações. Essas máquinas podem variar em termos de capacidade de carga, velocidade de teste, sistema de controle e outras funcionalidades avançadas. A escolha da UTM adequada depende do tipo de material a ser testado, das propriedades que se deseja avaliar e das normas técnicas aplicáveis.

O uso da Máquina Universal de Ensaio é fundamental para a engenharia, permitindo a caracterização detalhada do comportamento mecânico de materiais e a otimização de projetos e processos industriais. Sua importância é inquestionável no desenvolvimento de tecnologias inovadoras e na garantia da confiabilidade e segurança de produtos e estruturas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Ensaio Mecânicos

A determinação das propriedades dos materiais é feita por intermédio de “ensaios”; assim, “ensaios mecânicos” têm por objetivo determinar as propriedades mecânicas. Os ensaios visam não somente medir as propriedades propriamente ditas, como igualmente comparar essas propriedades em diversos materiais, constatar a influência das condições de fabricação, de tratamentos e da utilização dos materiais e, finalmente, determinar qual o material que mais se recomenda para uso em determinadas condições e se o material escolhido irá satisfazer às condições exigidas quando realmente aplicado na estrutura ou na máquina inteira (Chiaverini, 1984)

O comportamento mecânico de um material reflete a relação entre sua resposta ou deformação a uma carga ou força aplicada. Propriedades mecânicas importantes para o projeto são rigidez, resistência, dureza, ductilidade e tenacidade (Callister, 2016)

Conforme Souza, (1982), geralmente, os ensaios mecânicos de caracterização de um material são destrutivos, pois promovem a ruptura ou a inutilização do material. Na categoria de ensaios destrutivos, estão classificados os ensaios de tração, dobramento, flexão, torção, fadiga, impacto, compressão e outros. Também existem os tipos de ensaios não destrutivos, dentre estes estão, os ensaios com raio x, ultrassom, Magnaflux, elétricos e outros.

Um teste de tração ou compressão basicamente envolve puxar uma amostra de teste fixada em mandíbulas em ambas as extremidades até que ela quebre ou comprima e registrar a carga e a deformação correspondente produzida em instantes variados. (Olabisi *et al.*, 2016)

Local Ideal para Instalação da Máquina Universal de Ensaio

Para instalar uma Máquina Universal de Ensaio, é de suma importância a escolha de um local apropriado, para que seja atendido os requisitos operacionais e de segurança. Aqui estão listadas algumas considerações para selecionar o local ideal:

Base Sólida e Estável: a máquina deve ser instalada em uma base rígida e nivelada, geralmente de concreto reforçado, para suportar o peso da máquina e resistir às forças geradas durante os testes.

Espaço Adequado: certificar-se de que há espaço suficiente ao redor da máquina para acomodar todos os componentes e permitir a movimentação segura dos operadores. Isso inclui espaço para a máquina, e outras ferramentas ou acessórios necessários.

Ambiente Controlado: a sala deve ter controle adequado de temperatura e umidade para garantir a precisão dos testes e a longevidade da máquina. Evite locais com altas vibrações, poeira excessiva, umidade ou outros fatores que conseqüentemente interfiram no funcionamento adequado do equipamento.

Acesso Elétrico e Hidráulico: verificar se há acesso fácil a tomadas elétricas para os equipamentos auxiliares.

Segurança: o local deve ter medidas de segurança adequadas, incluindo iluminação suficiente, sinalização de segurança, extintores de incêndio e, se necessário, proteções acústicas para reduzir o ruído.

Facilidade de Manutenção: o espaço deve permitir fácil acesso para manutenção e reparos da máquina, bem como para a substituição de peças e calibração dos instrumentos.

Ventilação: a sala deve ser bem ventilada para dissipar o calor gerado durante os testes e evitar o acúmulo de gases ou vapores nocivos.

Laboratórios de Metrologia normalmente abrigam equipamentos de testes mecânicos, pois por definição já atendem aos requisitos de qualidade em suas operações. Ao escolher um local que atende a esses critérios, garante-se que a Máquina Universal de Ensaio opere de maneira eficiente, segura e precisa.

Nesse sentido, uma vez que os laboratórios de metrologia são essenciais para os sistemas de controle da qualidade, a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 (Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração) foi desenvolvida com o objetivo de promover a confiança na operação de laboratórios, garantindo que as condições ambientais não afetem adversamente a validade dos resultados, além da implementação de medidas como atividades de monitoria e controle da instalação que devem ser submetidas a análises críticas periodicamente, conforme a especificação e procedimentos pertinentes (Barboza *et al.*, n.d.)

Calibração

A calibração consiste em: inspeção geral da máquina de ensaio, incluindo seus acessórios para aplicação de força; Calibração do sistema de medição da força. A calibração da máquina de ensaio somente deverá ser realizada se a máquina estiver em boas condições de funcionamento. Para tanto, deve ser realizada uma inspeção geral da máquina antes da calibração do sistema de medição de força da máquina (NBR NM-ISO 7500-1).

Inspeção Visual

Segundo a NBR NM-ISO 7500-1, a inspeção geral da máquina de ensaio deve ser realizada antes da calibração do sistema de medição de força da máquina e deve compreender o seguinte:

Exame Visual

O exame visual deve verificar:

- Se o equipamento está em boa condição de funcionamento e não está afetada adversamente por determinados aspectos de suas condições gerais, tais como: desgaste acentuado ou defeitos nas guias dos elementos móveis dos cabeçotes ou garras; folgas na montagem das colunas e cabeçotes fixos;
- Se o equipamento não está afetado pelas condições ambientais (vibração, interferências elétricas, corrosão, variações de temperatura local etc.);

- Se forem utilizadas massas separáveis no dispositivo pendular, que essas massas estejam adequadamente identificadas.

Inspeção na Estrutura da Máquina

Deve ser realizada uma inspeção a fim de garantir que a estrutura e os sistemas de fixação permitam que a força seja aplicada axialmente (NBR NM-ISO 7500-1).

Inspeção do Mecanismo de Acionamento do Cabeçote

Deve ser inspecionado se o mecanismo de acionamento do cabeçote permite uma variação uniforme e suave de força e possibilita que sejam obtidos os diversos valores pré-estabelecidos de força com suficiente exatidão (NBR NM-ISO 7500-1).

Manutenção

A NBR 5462 (1994), define manutenção como, a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Equipamentos como as Máquinas Universais de Ensaio, precisam de precisão e assertividade em seus resultados. A manutenção regular assegura que a máquina funcione corretamente e forneça resultados precisos e confiáveis. Sem manutenção adequada, pequenos erros podem acumular-se, levando a medições imprecisas e comprometendo a integridade dos dados.

Além disso, essas máquinas operam com forças elevadas e componentes móveis que, se não estiverem em boas condições, podem representar riscos significativos para os operadores. A manutenção preventiva identifica e resolve potenciais problemas de segurança antes que se tornem graves, protegendo a saúde dos operadores e evitando acidentes.

Como qualquer equipamento industrial, uma MUE tem uma vida útil que pode ser significativamente prolongada com manutenção adequada. Lubrificação regular, calibração e substituição de peças desgastadas evitam o desgaste prematuro e a necessidade de substituição frequente do equipamento.

Muitos setores industriais exigem que os ensaios de materiais sejam realizados de acordo com normas específicas, como as normas NBR, ISO e ASTM. A manutenção regular garante que a MUE esteja sempre em conformidade com esses padrões, evitando problemas de auditoria e garantindo que os produtos testados atendam aos requisitos de qualidade.

Alguns exemplos de componentes de uma MUE que necessitam de maior atenção e rigor com a manutenção são:

Célula de carga: componente responsável por medir a força aplicada ao material. Qualquer desvio pode levar a resultados imprecisos. É preciso verificar sua calibração e sinais de danos e desgastes, analisando a necessidade de reparo ou troca.

Sistema de controle e software: garantem que os testes sejam conduzidos corretamente e que os dados sejam coletados e processados adequadamente. Atualizações podem ser necessárias para garantir e corrigir a funcionalidade do sistema e evitar falhas.

Componentes mecânicos (guias, parafusos, rolamentos, fusos etc.): Componentes mecânicos desgastados podem afetar a precisão do movimento e a aplicação uniforme da força. Além da integridade dos operadores. Inspeccionar, reapertar, lubrificar ou substituir peças danificadas podem ser necessários para o bom funcionamento do sistema.

Motores e atuadores: Os motores e atuadores controlam o movimento da máquina e devem funcionar suavemente para garantir testes precisos. Verificar o estado dos motores, medir, testar e realizar ajustes ou substituições conforme necessidade.

Sensores e transdutores: Sensores de posição, velocidade e outros parâmetros garantem que os dados coletados sejam precisos. É necessário verificar a calibração, posição ou substituir sensores defeituosos.

Estrutura da máquina: A integridade estrutural da máquina é essencial para suportar as forças durante os testes, sem deformação e risco para o operador. É preciso inspeccionar soldas, parafusos de fixação e a estrutura geral da máquina.

Diferentes técnicas de manutenção podem ser aplicadas em uma MUE, a necessidade de cada intervenção deve ser cuidadosamente planejada e efetuada por profissionais especializados e habilitados. A atual pesquisa aponta para práticas de manutenção aplicáveis a esse tipo de equipamento.

Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado. Ao atuar em um equipamento que apresenta um defeito ou um desempenho diferente do esperado estamos realizando manutenção corretiva (Kardec, Nascif, 2013).

A manutenção corretiva é um tipo de manutenção executada posteriormente ao se constatar uma falha ou mesmo um mau funcionamento de um sistema ou equipamento. O objetivo principal dessa prática é restaurar o funcionamento normal do equipamento o mais rápido possível. A manutenção corretiva pode ser planejada, quando as falhas são previstas e a intervenção é programada, ou não planejada, quando as falhas ocorrem de maneira inesperada.

Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é uma abordagem proativa para a gestão e manutenção de equipamentos e sistemas. Seu objetivo é prevenir falhas e maximizar a eficiência operacional através de intervenções regulares e programadas. Ao contrário da manutenção corretiva, que é realizada após a ocorrência de uma falha, a manutenção preventiva é planejada e executada para evitar que as falhas ocorram.

Segundo Soeiro (2017), a manutenção preventiva apresenta como resultado uma diminuição na frequência de ocorrência de falhas, um aumento da disponibilidade dos

equipamentos e também uma diminuição das interrupções inesperadas da produção. A manutenção preventiva é indicada quando o controle por tempo é eficaz e a monitoração por condição não é possível.

Inversamente à política de Manutenção Corretiva, a Manutenção Preventiva procura obstinadamente evitar a ocorrência de falhas, ou seja, procura prevenir. Em determinados setores, como na aviação, a adoção de manutenção preventiva é imperativa para determinados sistemas ou componentes, pois o fator segurança se sobrepõe aos demais (Kardec, Nascif, 2013).

Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é uma abordagem avançada de manutenção que utiliza a análise de dados e técnicas de monitoramento contínuo para prever quando um equipamento pode falhar, permitindo intervenções antes que ocorram falhas reais. Essa estratégia se baseia no monitoramento em tempo real das condições do equipamento e na análise de tendências, proporcionando uma manutenção mais eficiente e econômica.

Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (NBR 5462,1994).

Modelo de Máquina Universal de Ensaio

Ao nos depararmos com uma Máquina Universal de Ensaio inoperante (Figura1), que motivou a pesquisa para o artigo, levantamos os dados e características do modelo disponibilizado no seu catálogo de apresentação.

Figura 1 – Máquina Universal de Ensaios.



Marca: TIME GROUP INC.

Local de Fabricação: Pequim, China.

Modelo: WDW 100-E

Recurso: Sistema digital de ajuste, medição e controle da velocidade.

Rigidez (kn/mm): 300

Gama de Carga: 0,4% - 100% da carga máxima

Precisão do quadro: Toda a montagem do quadro é feita em máquinas CNC e ferramental de altíssima precisão garantindo total exatidão no conjunto.

Exatidão do fuso de esferas: 16 microns, os níveis de todos os fusos são fresados.

Exatidão da deformação: + ou - 1% dentro da faixa de 2 a 100% da escala do extensômetro.

Exatidão do curso da travessa: 0,001mm

Exatidão do valor da indicação (Valor da carga do ensaio): + ou - 1% (nível de exatidão + ou - 0,5%)

Resolução da carga: 1/200.000 de força da carga máxima

Faixa da medida da deformação (Extensômetro Normal): 2% - 100% FN

Indicação de precisão da Deformação (Extensômetro normal): Dentro de + ou – 0,5% do valor.

Faixa de medição da deformação (Extensômetro para grande deformação): 10mm – 800mm.

Precisão da indicação de deformação (Extensômetro de alta deformação): Dentro de + ou – 0,5% do valor.

Resolução do curso da travessa: 0,001mm

Faixa de ajuste da velocidade no modo de controle de carga: 0,005% - 5% FN/S

Exatidão da velocidade do ensaio no modo de controle de carga: Velocidade do ensaio 0,05% FN/s, dentro de + ou – 2% do valor pré-configurado.

Faixa de velocidade do curso da travessa: 0,005mm/min – 500mm/min

Precisão da velocidade do curso: Velocidade do ensaio 0,01mm/min, dentro de 1% do valor selecionado.

Faixa de controle de deformação e deslocamento de carga constante: 0,5% - 100% FN/s.

Precisão de carga constante, deformação e controle de deslocamento: Valor selecionado 10% FN, dentro de 0,1% do valor selecionado.

Curso útil do ensaio sem garras: 1280 mm

Distância entre colunas: 600 mm

Alimentação elétrica: 220 V Trifásico mais neutro

Potência elétrica: 1,5 kW

O equipamento é controlado através de software disponibilizado pela marca e conectado ao computador por entrada/saída RS232/USB. O referido equipamento está apresentando falhas de comunicação o que o tornou inoperante para os testes de funcionamento. A representante brasileira que anteriormente importava os equipamentos da fabricante chinesa encerrou sua parceria, dificultando o acesso a peças de reposição e à documentação técnica essencial para consultas e reparos.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi um estudo de caso combinado com pesquisa ampla sobre o tema, permitindo aprofundar o conhecimento e contribuir para futuras pesquisas com a mesma temática. A análise inclui pesquisa e aprofundamento com consultas a artigos, livros e ensaios científicos de autores que apresentam e discutem temas similares, mais precisamente sobre ensaios mecânicos, calibração e manutenção.

De acordo com Lakatos e Marconi (2017), artigos científicos são pequenos estudos,

porém completos, que tratam de uma questão científica. Apresentam o resultado de estudos ou pesquisas e distinguem-se dos diferentes tipos de trabalhos científicos pela sua reduzida dimensão e conteúdo.

A pesquisa foi empreendida tanto de maneira *online*, buscando em sites acadêmicos, com maior tempo dedicado no Google Acadêmico, e sites da área de engenharia, manutenção, quanto na biblioteca da própria instituição com uso de obras consagradas no meio. Alguns exemplos de descritores de pesquisa utilizados nas buscas *online* foram: “máquina de ensaio universal”, “ensaios mecânicos”, “manutenção” e “metrologia”.

RESULTADOS, ANÁLISE OU DISCUSSÕES

A pesquisa realizada destaca a importância fundamental da manutenção e conservação das Máquinas Universais de Ensaio (UTM) em laboratórios e indústrias. Essas máquinas são essenciais para realizar uma ampla gama de testes mecânicos, entre os principais estão os testes de tração, teste de compressão, teste de flexão e teste de cisalhamento. A análise dos dados revela que a falta de manutenção adequada pode levar à imobilização do equipamento, como observado no caso estudado, onde a máquina apresentou falhas de comunicação, e levar a resultados imprecisos em testes mecânicos, afetando a confiabilidade dos dados e a segurança operacional. Os resultados indicam que a implementação de um plano rigoroso de manutenção preventiva pode prolongar significativamente a vida útil do equipamento e garantir a precisão dos testes realizados. A literatura revisada sugere que a calibração regular e a verificação das condições operacionais específicas são determinantes para manter a confiabilidade dos resultados dos ensaios. Estudos como os de Olabisi *et al.* (2016) reforçam a necessidade de diagnósticos precisos e reparos especializados para evitar a deterioração do desempenho da máquina. Além disso, a análise dos padrões normativos, como a NBR NM-ISO 7500-1 e a NBR ISO/IEC 17025, evidencia que a conformidade com esses padrões é vital para garantir a exatidão dos resultados e a segurança dos usuários. A pesquisa também identifica a importância de treinamentos regulares para os responsáveis pela manutenção das máquinas, assegurando que eles estejam aptos a realizar manutenções básicas e avançadas, e reconhecer sinais de possíveis falhas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a manutenção e a conservação adequadas das Máquinas Universais de Ensaio são essenciais para a operação eficaz e segura desses equipamentos em laboratórios e indústrias. A pesquisa demonstrou que a negligência na manutenção pode resultar em falhas operacionais graves, comprometendo a qualidade e a confiabilidade dos testes realizados.

A implementação de um plano de manutenção abrangente que inclua inspeções regulares, calibração e atualizações de software, alinhado às normas técnicas, e a capacitação contínua dos operadores e dos responsáveis pela manutenção, são medidas fundamentais para garantir a longevidade e a precisão das Máquinas Universais de Ensaio. Além disso, a parceria contínua com fornecedores confiáveis é crucial para assegurar o

acesso a peças de reposição e suporte técnico, evitando problemas como o observado no estudo de caso. Portanto, é imperativo que as instituições que utilizam essas máquinas invistam em estratégias robustas de manutenção e capacitação para assegurar que elas continuem a desempenhar seu papel vital na avaliação das propriedades mecânicas dos materiais, contribuindo para a inovação tecnológica e a segurança estrutural nas diversas áreas da engenharia e indústria.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM-ISO 7500-1: **Materiais metálicos – Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão – Calibração do sistema de medição da força**, Rio de Janeiro. 2004.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5462: **Confiabilidade e manutenibilidade**, Rio de Janeiro. 1994.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR ISO/IEC 17025, **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração**, Rio de Janeiro. 2005.
- BARBOZA, Wallace Dieb; LOPES, Emerson Tavares; CAMPO, Eduardo Rafael Barreda Del. **Estudo de caso e normatização de um laboratório de metrologia quanto aos parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar**. Uninorte
- CALLISTER, W. D.; **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução** / William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch; tradução Sergio Murilo Stamile Soares. - 9. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2016
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 2017.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- OLABISI, A. S.; KAREEM, B.; ADETUNDE, I. Diagnosis and Repair of CNC Electromechanical Universal Testing Machine of a LR 5k Model. **International Journal of Scientific Research in Science and Technology**, Akure, Ondo State, Nigeria. 2016.
- SOEIRO, Marcus Vinicius de Abreu. **Gestão de Manutenção** / Marcus Vinicius de Abreu Soeiro, Amauri Olívio, André Vicente Ricco Lucato. –Londrina: Editora e Distribuidora Educacional SA, 2017
- SOUZA, Sérgio. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos: Fundamentos teóricos e práticos**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1982.

Hidrogênio verde: potência econômica e social brasileira em desenvolvimento

Júlio Catta Prêta Lemos

Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais – Campus Pampulha

RESUMO

O presente estudo traz reflexões sobre o grande potencial de exploração do hidrogênio verde no Brasil e seus impactos econômicos e sociais. Nesse artigo é apresentada a, ainda em desenvolvimento, indústria de geração de hidrogênio verde brasileira, os projetos atuantes no país, a capacidade econômica do setor e os profundos impactos sociais positivos que trará ao Brasil, principalmente em regiões vulneráveis.

Palavras-chave: hidrogênio verde; desenvolvimento; capacidade econômica; impactos sociais.

INTRODUÇÃO

A geração de energia é, sem dúvida, um dos grandes desafios da humanidade e da engenharia. Juntamente com o crescimento da população, da indústria e do poder de compra das pessoas, aumentou-se a demanda mundial por energia, que é suprida, majoritariamente, por fontes não renováveis e poluentes, a exemplo do carvão e do gás natural.

Nesse panorama, pesquisadores buscam soluções com menor impacto ambiental para suprir tais demandas, como a energia nuclear, solar, eólica e das hidrelétricas. Na última década, um novo recurso tem ganhado força e investimento de empresas e governos ao redor do mundo, um elemento tão abundante em nosso planeta que, se comercialmente viável, mudaria completamente o cenário de geração de energia. Esse recurso é o Hidrogênio Verde.

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e gigantesca capacidade hídrica e solar, aparece na ponta como um dos países que mais pode lucrar com essa tecnologia. Nessa perspectiva, o presente artigo busca discutir a ainda em desenvolvimento indústria nacional de geração de hidrogênio verde e seus grandes impactos econômicos e sociais.



O QUE É O HIDROGÊNIO VERDE

Embora haja um espectro de cores para denominar esse elemento, o hidrogênio é um gás invisível, portanto, não há diferença observável entre seus tipos. A coloração do hidrogênio presente nas nomenclaturas é a classificação do método utilizado para gerar o gás. De acordo com (Cheng *et al.*, 2022), a classificação se dá de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 1 - Classificação das diferentes formas de geração de hidrogênio.

Terminologia		Tecnologia	Fonte de energia para produção	Pegada de Carbono
Produção via eletreidade	Hidrogênio Verde	Eletrólise	Eólica Solar Hidráulica Geotérmica Tidal	Minima
	Hidrogênio Rosa		Nuclear	
	Hidrogênio Amarelo		Energia de fontes diferentes	Média
Produção via combustível fóssil	Hidrogênio Azul	Gás Natural, reforma de vapor do metano	Gás Natural Carvão	Baixa
	Hidrogênio Turquesa	Pirólise	Gás natural	Carbono Sólido
	Hidrogênio Cinza	Reformação de Gás Natural		Média
	Hidrogênio Marrom	Gasificação	Carvão Marrom	Alta
	Hidrogênio Preto		Carvão Negro	

Fonte: Adaptado de Cheng *et al.* 2022, p. 02.

O hidrogênio verde, conforme demonstrado na tabela 1, é produzido por matrizes energéticas renováveis, ou seja, tem impacto mínimo no meio ambiente. A grande extensão territorial do Brasil, bem como abundância de recursos hídricos e energia limpa gerada por hidrelétricas, possibilita um grande potencial de produção desse tipo de hidrogênio, tão requisitado por empresas e Estados ao redor do mundo que buscam realizar a transição energética para matrizes mais limpas.

Além do mais, a expansão exponencial do setor de fotovoltaico e eólico garantiu um estoque ainda maior de energia verde para o país. Segundo pesquisa realizada pela ANEEL/ABSOLAR, 18% ¹ da matriz energética brasileira é proveniente de energia solar e 13% da eólica. Se somadas com a hídrica, o Brasil tira quase 70% da energia que circula em sua matriz energética dessas 3 fontes renováveis.

Toda essa capacidade chamou atenção de investidores nacionais e estrangeiros. “O Brasil possui potencial técnico para produzir 1,8 bilhão de toneladas de hidrogênio por ano.” (Agência Senado, 2024, p. 01). Portanto, esse setor pode tornar-se um importante pilar da economia brasileira, o impacto especulado ao país é exemplificado em:

[...] a previsão de sete trilhões de reais em investimento em capex e opex, e a arrecadação para todas as esferas do governo até 2050. Todo esse montante pode reverberar na economia, significando também um superávit primário de R\$ 72 bilhões, a partir de 2027 (Thoele e Delgado, 2023).

Outro ponto positivo para a adoção da produção hidrogênio verde em larga escala no país é o desenvolvimento e geração de empregos em regiões que, historicamente, tem participação baixa no PIB do país. Ainda segundo Delgado (2023):

¹ ABSOLAR. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. [2024]. 1 infográfico, 138 Kb. Formato JPEG. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 10 de mai.2024

[...] Quanto às regiões mais envolvidas no processo, podemos destacar a Região Nordeste, com grande potencial eólico e solar, com diversos projetos assinados nos Estados do Ceará, da Bahia, de Pernambuco, do Rio Grande do Norte e do Piauí.

Estimasse que mais de 80 mil empregos sejam criados para atender as demandas do setor, que já conta com 60 projetos em pré-acordo, sendo 57 desses de iniciativa internacional, advindas da Europa, Ásia e Austrália.

METODOLOGIA

Visando explorar um dos grandes desafios da engenharia para o século 21, a pesquisa iniciou-se observando a convergência da geração de hidrogênio verde e formas de tornar a indústria nacional mais competitiva e menos poluente.

Ao decorrer do processo, vários artigos e trabalhos sobre o uso de hidrogênio verde foram analisados, com a aplicabilidade para o cenário socioeconômico brasileiro tornando-se o foco da pesquisa.

APLICAÇÃO NO BRASIL

Conforme apresentado acima, o Brasil se beneficia com o desenvolvimento desse setor energético. A criação de polos industriais orgânicos nas regiões Norte e Nordeste do país, além de gerar dividendos à União, contribui ativamente para o desenvolvimento da qualidade de vida nessas localidades, o que garante o aumento da renda local e poder de compra dos cidadãos, obras de infraestrutura urbana para atender a demanda industrial, formação de pessoal capacitado e desenvolvimento de pesquisa em universidades próximas.

Outro setor que se beneficiará do hidrogênio verde é o da agricultura. Atualmente, o país é altamente dependente de fertilizantes externos, sucedendo os preços de produtos no mercado interno a variações políticas e econômicas estrangeiras. O aumento da disponibilidade do insumo no país será possível com a combinação de hidrogênio verde e biomassa. A expectativa é diminuir o valor de fertilizantes importados, que atualmente são mais de 70% da quantidade utilizada.

Finalmente, a questão climática também é tema central da utilização do hidrogênio verde em larga escala. A produção e os subprodutos resultantes das reações envolvendo esse insumo são minimamente ou nada danosas ao meio ambiente, diminuindo o impacto humano em fenômenos climáticos e ambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notório que o desenvolvimento de uma indústria nacional forte para a produção do hidrogênio verde é imprescindível para que o Brasil melhore a qualidade de vida de seus cidadãos e cresça a economia de forma sustentável.

Em âmbito político, é um passo importante para a autonomia estratégica do país em um setor tão importante quanto a agricultura, que já demonstrou sua volatilidade com o

início do conflito Russo-Ucraniano em 2022².

Por fim, com eventos naturais tornando-se cada vez mais extremos, a exemplo das grandes enchentes vistas em abril de 2024 no Rio Grande do Sul, é imprescindível a utilização de fontes de energia comercialmente viáveis e com impactos mínimos na atmosfera e biosfera. Acredita-se que, em alguns anos, caso o país siga investindo no setor, poderá cumprir as metas estabelecidas pelos governantes, além de melhorar significativamente o padrão de vida dos cidadãos.

REFERÊNCIAS

CHENG, W.; LEE, S. How Green Are the National Hydrogen Strategies? **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 3, p. 2-25, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14031930>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358515834_How_Green_Are_the_National_Hydrogen_Strategies. Acesso em 10 mai. 2024.

THOELE, A.; DELGADO, F. Brasil Lidera Na Capacidade de Produção Sustentável de Hidrogênio Verde. **Swissinfo**, 7 dez. 2023. Disponível em: www.swissinfo.ch/por/ciencia/brasil-lidera-na-capacidade-de-produ%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel-de-hidrog%C3%AAnioverde/49038718. Acesso em 10 de mai. de 2024.

OSAKI, M. Com Forte Dependência Do Mercado Externo, Setor Nacional de Fertilizantes Enfrenta Desafios. **Centro de Estudos Avançados Em Economia Aplicada - CEPEA-Esalq/USP**, 14 mar. 2023, Disponível em: www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/com-forte-dependencia-do-mercadoexterno-setor-nacional-de-fertilizantes-enfrenta-desafios.aspx. Acesso em 10 mai. 2024.

RODRIGUES, E. Brasil pode produzir 1,8 bi de toneladas ao ano de hidrogênio, mostra debate. **Agência Senado**, 27 fev. 2024. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/02/27/brasil-pode-alcancar-1-8bi-de-toneladas-ao-ano-de-hidrogenio-verde-mostra-debate>. Acesso em 10 mai. 2024.

LENNON, S. Mais de 70% dos fertilizantes são importados no Brasil. **Agrolink**, 05 de set. 2023. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/mais-de-70--dosfertilizantes-sao-importados-no-brasil_483200.html. Acesso em 10 mai. 2024.

XIMENES, V. Pecém prevê 80 mil empregos com hidrogênio verde e planeja iniciar exportação em 2026. **Diário do Nordeste**, 23 de mar. 2023. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniao/colunistas/victorximenes/pecem-preve-80-mil-empregos-com-hidrogenio-verde-e-planeja-iniciarexportacao-em-2026-1.3349274>. Acesso em 10 mai. 2024.

² Em 2022, com o início do conflito, os preços de fertilizantes no mercado internacional cresceram drasticamente pois a Rússia, uma das maiores produtoras do insumo, empenhar-se no confronto.

Caracterização de placa bipolar de eletrolisadores alcalinos para produção de hidrogênio

Characterization of alkaline electrolyzer bipolar plates for hydrogen production

Victor Alejandro Rivarola Balbuena

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 85870-650 Foz do Iguaçu – PR, Brasil

Carlos Roberto Mendonça da Rocha

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 85870-650 Foz do Iguaçu – PR, Brasil

Rodrigo Leonardo de Oliveira Basso

Universidade Federal da Integração Latino Americana, 85866-000 Foz do Iguaçu – PR, Brasil

Angel Ambrocio Quispe

Centro de Tecnologias de hidrogênio - Parque Tecnológico Itaipu - BR, 85867-900 Foz do Iguaçu – PR, Brasil

RESUMO

O trabalho propõe a caracterização da placa bipolar do eletrolisador alcalino instalado no Parque Tecnológico Itaipu (PTI) empregando técnicas de caracterização química e eletroquímica. Identificou-se a partir da difração de raio X (DRX) e energia dispersiva de raio X (EDS) as fases de níquel e ferro. As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) demonstraram que a placa bipolar consiste em um aço revestido com níquel. A análise por voltametria cíclica permitiu verificar o perfil voltamétrico do níquel na placa bipolar. Com o incremento da temperatura, foi observado um aumento de até 27 vezes na densidade de corrente para produção de O₂ e de até 25 vezes na produção de H₂. A produção de O₂ apresentou melhor desempenho que a produção de H₂ quando comparadas às resistências de transferência de carga pela passagem de uma densidade de corrente de 10 mA/cm².

Palavras-chave: planta de produção de hidrogênio verde; placa bipolar, eletrólise alcalina; caracterização de materiais; caracterização eletroquímica.



ABSTRACT

The present work proposes the characterization of the bipolar plate of the alkaline electrolyzer installed at the Itaipu Technology Park (PTI) by using chemical and electrochemical techniques. As a result, nickel and iron phases were identified by using X-ray diffraction (XRD) and X-ray energy dispersive spectroscopy (EDS). Images obtained by scanning electron microscopy (SEM) demonstrated that the bipolar plate consist of a steel coated with nickel. By Cyclic voltammetry analysis, the nickel voltametric profile of the bipolar plate was identified. Increasing the temperature to 80°C shows an increase of up to 27 times the current density for O₂ production and up to 25 times for H₂ production. The O₂ evolution reaction performed better than H₂ when compared EIS results with a cathodic and anodic current density of 10 mA/cm².

Keywords: green hydrogen production plant; bipolar plate, alkaline electrolysis; materials characterization; electrochemical characterization.

INTRODUÇÃO

A corrida para alcançar os objetivos de redução das emissões de carbono até o ano 2050 e mitigar os impactos da mudança climática requer soluções sustentáveis para a produção de energia tais como o hidrogênio verde produzido, a partir de fontes renováveis, além da energia solar, da eólica e da hidrelétrica.

O hidrogênio verde é uma solução promissora para a transição energética e mitigação das emissões de gases de efeito estufa naqueles setores industriais mais difíceis de descarbonizar pela eletrificação, como a indústria do aço, cimento, fertilizantes, entre outros (Irena, 2021). Além disso, o hidrogênio também pode ser utilizado no setor de transporte, como armazenamento de energia sazonal e na geração de energia elétrica utilizando células a combustíveis.

A produção do hidrogênio verde acontece pela eletrólise da água, processo eletroquímico que consiste na dissociação da molécula da água em hidrogênio (H₂) e oxigênio (O₂) com a utilização de uma corrente elétrica contínua.

Existem várias tecnologias utilizadas para a produção de hidrogênio tais como a eletrólise alcalina, a eletrólise por membrana de troca protônica (PEM) e a eletrólise de óxido sólido (SOE). A produção de hidrogênio por eletrólise alcalina é a de maior maturidade, sendo comercializada para aplicações industriais desde o início do século XX (Garcke, 2009). A principal vantagem desse tipo de eletrolisador frente aos outros tipos é o reduzido custo dos materiais utilizados, como o níquel e o ferro.

O Brasil possui grande potencial para produção de hidrogênio verde por eletrólise da água, considerando que 83% da geração de energia elétrica é de origem renovável, principalmente hidrelétrica (Em

presa de Pesquisa Energética, 2020). Além disso, o Brasil tem a segunda e a terceira maior reserva do mundo os principais materiais utilizados nos eletrodos e nas placas bipolares dos eletrolisadores alcalinos, que são o ferro e o níquel, respectivamente (IBRAM, 2012).

Porém, mesmo com potencial para o desenvolvimento deste tipo de tecnologia, um dos principais desafios é a dependência tecnológica das principais potências mundiais.

Nesse sentido, é importante compreender a tecnologia associado aos eletrolisadores alcalinos através da construção de plantas piloto que permitam caracterizar todo o processo envolvido na produção, armazenamento e uso do hidrogênio como fonte de energia renovável.

O Parque Tecnológico Itaipu (PTI) conta desde 2014 com uma Planta de Produção de Hidrogênio Verde (PPHV) que utiliza eletrolisadores alcalinos comerciais que permitem estudar todo o processo envolvido na produção de hidrogênio. Assim, foi proposta a caracterização química e morfológica do material utilizado nas placas bipolares do eletrolisador alcalino da PPHV. A motivação para este trabalho é o desenvolvimento nacional desta tecnologia no contexto do potencial que apresenta o Brasil e o momento mundial atual, onde existe uma grande demanda pelas tecnologias e amplos recursos econômicos são investidos para a aceleração da inserção do Hidrogênio na matriz energética mundial.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, as placas bipolares dos eletrolisadores alcalinos da PPHV foram caracterizadas em duas etapas: (1) caracterização química e morfológica da superfície (2) caracterização eletroquímica. A primeira consistiu na utilização de técnicas de caracterização de materiais tais como: difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia dispersiva de energia (EDS). A segunda parte consistiu no estudo eletroquímico utilizando técnicas eletroanalíticas tais como: voltametria cíclica e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS).

Placa Bipolar

A placa bipolar pertence ao eletrolisador alcalino da PPHV instalado no PTI (figura 1.a e figura 1.b, respectivamente). Esta foi retirada durante processos de manutenção do eletrolisador e consiste de um disco metálico de 250 gramas. A parte mais central da placa, cuja área é de 0,05 m² permanece exposta à solução eletrolítica, apresentando uma cor escurecida, diferente das bordas, que não é exposta à solução.

Figura 1 - (a) Placa bipolar do eletrolisador alcalino da PPHV do PTI. (b) Eletrolisador Alcalino da PPHV do PTI.



(a)



(b)

Caracterização Química e Morfológica

A caracterização das fases cristalinas e da estrutura presente na placa bipolar foram determinadas por DRX. A caracterização morfológica da superfície foi realizada com microscopia eletrônica de varredura MEV, principalmente da região frontal. A composição e a concentração química em percentagem em massa e o mapeamento no material foram avaliados por EDS.

Instrumentação

As caracterizações química e morfológica foram realizadas com um difratômetro Panalytical modelo Empyrean com tubo de Cobalto ($\text{Co K}\alpha$, $\lambda=1,78901\text{\AA}$) no intervalo de 45° a 120° (2θ) com passo de $15^\circ/\text{min}$. As fases cristalinas foram identificadas utilizando o software *X-Pert HighScore Plus* versão 2.0.1 da Panalytical usando-se fichas de referência obtidas na base de dados *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD). As imagens e a composição química foram obtidas utilizando um microscópio eletrônico de varredura Zeiss EVO-MA10 equipado com espectrômetro EDS.

Para a caracterização por DRX, MEV e EDS, uma amostra de $2,0\text{ cm} \times 2,0\text{ cm}$ foram retiradas da placa bipolar. Antes das análises, as amostras foram colocadas em um forno mufla a 700°C por 1 hora para a retirada de componentes orgânicos que estivessem presentes no material.

Caracterização Eletroquímica

A caracterização eletroquímica foi realizada por voltametria cíclica para identificar o perfil voltamétrico e as fases presentes nos processos de redução e oxidação no material. A resistências da solução, a resistência à transferência de carga na interface eletrodo/solução e a capacitância de dupla camada foram caracterizadas por espectroscopia de impedância eletroquímica.

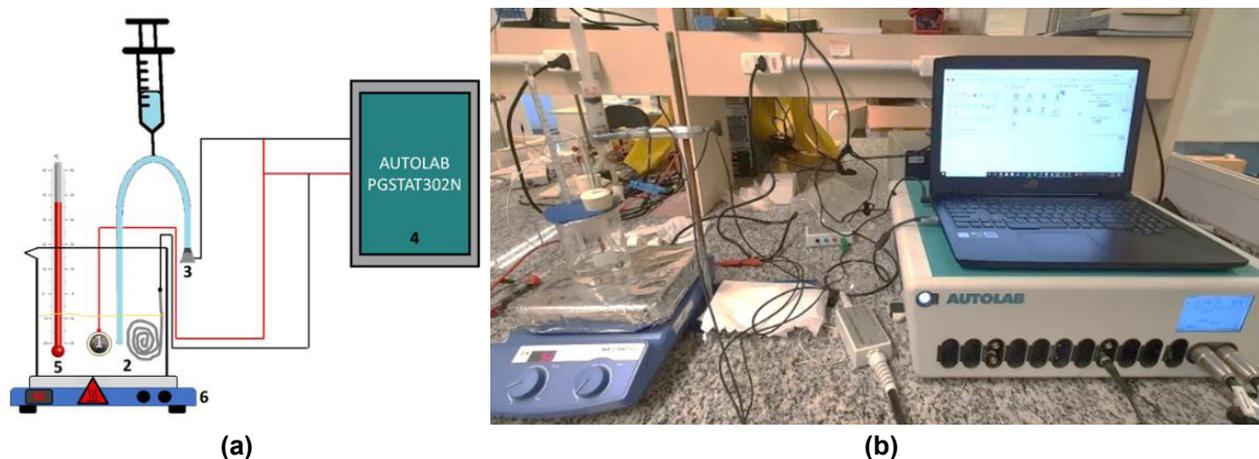
Instrumentação

A caracterização eletroquímica foi realizada utilizando um Potenciostato Autolab modelo PGSTAT 302N. Para o desenvolvimento da técnica foi montado um sistema eletroquímico em uma célula de 3 eletrodos imersos em 200 ml de solução aquosa de 35% de KOH dentro de um Becker. As medições foram realizadas utilizando um eletrodo de referência de Hg/HgO desenvolvido no próprio laboratório. Como contra eletrodo foi utilizado um eletrodo de platina com área de 314 mm². O eletrodo de trabalho consistiu em um eletrodo com forma circular de área de 78,5 mm². O eletrodo de trabalho foi embutido em cola epóxi com o fim de estudar separadamente as faces opostas da placa bipolar. A configuração utilizada é apresentada através da Figura 2.a e da Figura 2.b, respectivamente.

As medidas de voltametria cíclica foram realizadas em cada lado da placa bipolar (lado anódico e catódico) na faixa potencial entre -1,2V e 0,55V a uma taxa de varredura de 2 mV/s com o fim de identificar as fases formadas por redução e oxidação. Previamente ao início da medida, o eletrodo foi mantido a -1,15 V durante 10 minutos a fim de retirar os óxidos que possam ter se formado na superfície em contato com o ar. Com o objetivo de avaliar a influência da temperatura na evolução de H₂ e O₂, as medidas foram tomadas aquecendo a solução a 30, 50 e 80°C utilizando um agitador magnético com aquecimento IKA. As temperaturas foram escolhidas de acordo com as temperaturas atingidas pelo eletrolisador em operação (até 50°C) e a temperatura de operação segundo a literatura (80°C).

Os espectros de impedância eletroquímica foram obtidos aplicando potenciais de -1,15 V, -1,20 V, -1,25 V, -1,30 V na região de evolução de H₂ e 0,45 V, 0,50 V, 0,55 V e 0,60 V na região de evolução de O₂. As medidas foram tomadas na faixa de frequência entre 100 kHz e 100 mHz com perturbação de 10 mV. Da mesma forma que para a voltametria cíclica, foram tomadas medidas nas temperaturas de 30, 50 e 80°C. A fim de comparar de forma direta a resistência à transferência de carga para produção de H₂ e O₂ na interface eletrodo/solução da placa bipolar, foi realizada uma medida aplicando de forma galvanostática 10 mA/cm² no sentido catódica e outra vez no sentido ânodico. Os ajustes e a simulações das curvas para o circuito equivalente foram realizados utilizando o software Nova 2.1.

Figura 2: (a) Esquema de montagem de experimento: 1) eletrodo de trabalho (placa bipolar); 2) contra eletrodo (Pt); 3) eletrodo de referência (Hg/HgO); 4) potenciostato; 5) termômetro; 6) chapa aquecedor. (b) Foto da bancada montada.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 3 apresenta os resultados obtidos com a caracterização por DRX e MEV da placa bipolar. A Figura 3.a apresenta o difratograma do lado catódico da placa onde foram identificados picos em 52,3, 77,2 e 99,6 graus (2θ), os quais foram coincidentes com a referência de uma liga com uma fase de níquel e outra fase de ferro com estrutura cúbica (ICSD n°. 98-010-3562) e percentagens de 0,05 e 0,95 de proporções, respectivamente. Na Figura 3.b e 3.c são apresentadas as micrografias dos lados catódico e anódico da placa bipolar, respectivamente, onde é observada a morfologia da superfície e da lateral da placa.

Na figura 3.b são observadas regiões onde a superfície apresenta uma certa rugosidade e outra onde é mais lisa. Também pode ser observado um certo grau de porosidade que pode ter sido formada por degradação da superfície em processos de corrosão com solução de KOH.

A figura 3.c apresenta a superfície do lado anódico da placa. No lado anódico pode ser observado, da mesma maneira que do lado oposto, a presença de poros e trincas que interligam estes poros. A distribuição dos poros não é uniforme sobre a superfície, tendo regiões onde estes não são observados. A rugosidade aparenta ser menor que no lado de produção de H_2 , tendo, portanto, uma morfologia mais lisa.

A figura 3.d apresenta imagens obtidas através de uma vista frontal lateral focada na borda da amostra. Nesta imagem podem ser diferenciadas duas regiões: o lado lateral que apresenta uma textura mais compacta formando a parte estrutural da placa (o substrato), e o lado superficial com a presença de trincas.

Os resultados de mapeamento elementar por EDS do lado catódico são apresentados na figura 4. É possível observar que a composição interna da placa é predominantemente ferro enquanto a superficial é níquel. Isto permite inferir que a placa bipolar é um substrato de ferro revestido com níquel.

Na superfície do lado anódico foram identificados sinais de degradação por corrosão localizada. Na figura 5.a, pode ser observada uma região onde a placa apresentou perda de material formando uma cavidade, típica de corrosão por pites. Na figura 5.b é observado o início do que seria o começo do processo de corrosão localizada. A Figura 6 apresenta o mapeamento elementar de uma região com corrosão localizada, onde é observada a perda do recobrimento de níquel, expondo o substrato de ferro ao ambiente.

Figura 3 - Resultados da análise por DRX e MEV. a) Difratoograma de raios X obtido da placa bipolar do eletrolisador alcalino; b) Micrografias das superfícies do lado catódico da placa bipolar (lado de produção de H_2) com magnificação de 500X, c) lado anódico da placa bipolar (lado de produção de O_2) com magnificação de 2.500X e d) borda da amostra com magnificação de 500X.

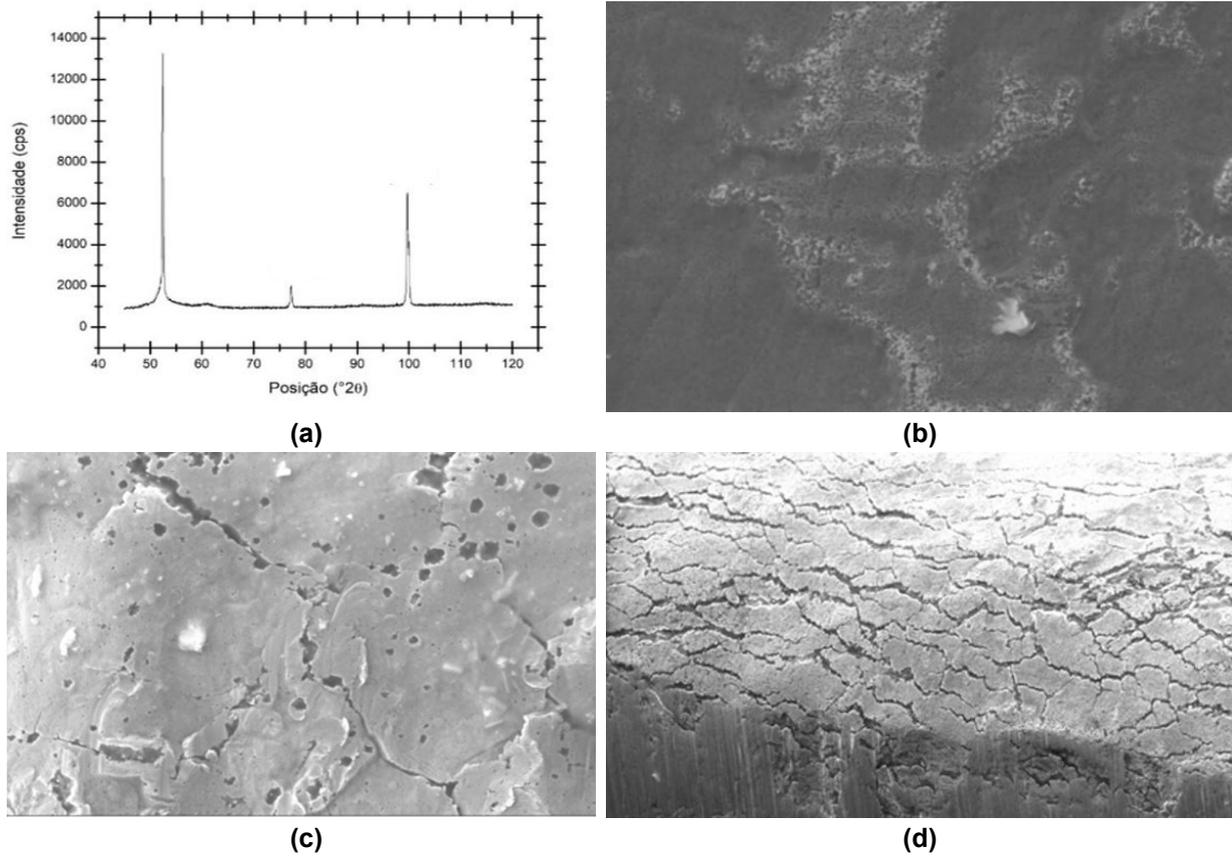


Figura 4 - Micrografia frontal da superfície catódica com fissuras com magnificação de 620X e mapeamento elemental por EDS.

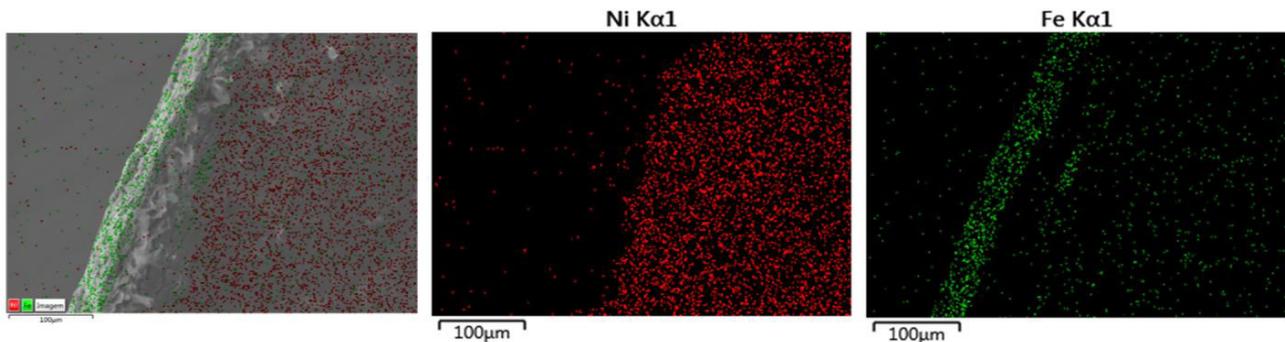


Figura 5 - Micrografias de corrosão localizada no lado anódico da placa bipolar. (a) corrosão identificada com magnificação de 773X e (b) início de formação de corrosão localizada com magnificação de 1380X.

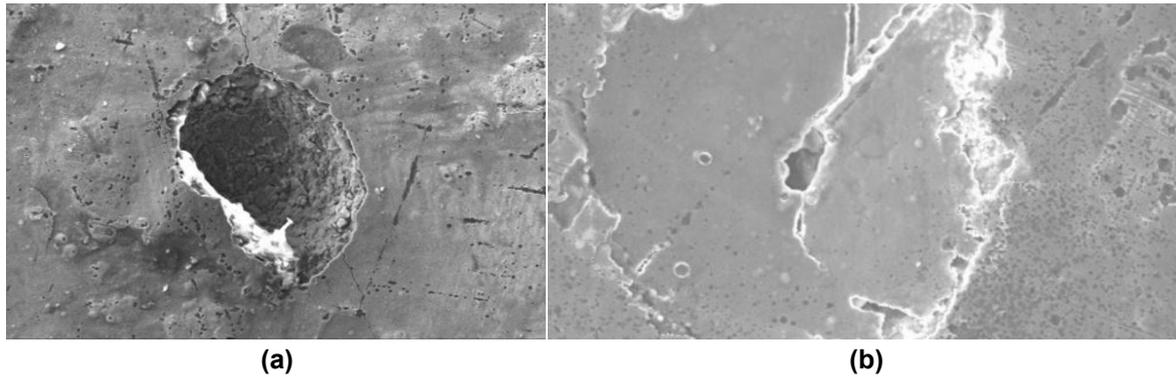
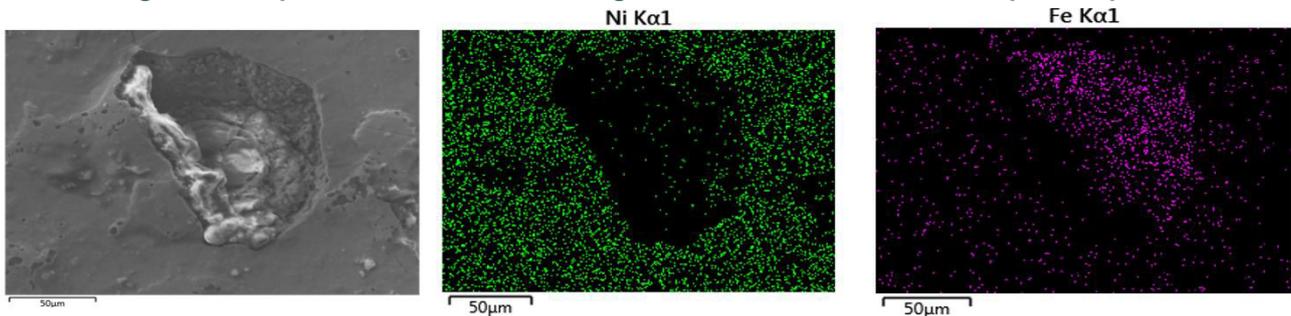


Figura 6 - Mapeamento elemental na região de corrosão localizada na placa bipolar.



De acordo com Penttinen *et al.* (1992), poros e trincas em revestimentos podem atuar como canais para corroer o substrato. Quando o substrato é exposto ao mesmo ambiente que o revestimento, estes formam um par galvânico, onde o metal menos nobre conforma um ânodo e o mais nobre um cátodo, resultando em ataques corrosivos localizados (corrosão por pites). A corrosão localizada faz com que o revestimento perca a aderência e leve à delaminação e descolamento do substrato. No caso apresentado, o ferro é um metal menos nobre que o níquel (Callister *et al.*, 2008) e, portanto, atua como ânodo e sofre corrosão localizada, levando ao descolamento do revestimento de níquel. A perda de material da placa bipolar por corrosão pode conduzir a perda de eficiência e a eventuais falhas na célula do eletrolisador. Os produtos da corrosão podem se incrustar no separador de gases da célula, implicando em um incremento de resistência do eletrolisador, e, por conseguinte, em um aumento no consumo de energia para a produção dos gases. Também, a corrosão pode levar a perda de contato ou aumento da resistência de contato com o pré-eletrodo da célula.

A partir das observações das análises por DRX, MEV e EDS, pode-se dizer que a placa bipolar é composta por um aço carbono revestido com níquel para dar resistência à corrosão.

A voltametria cíclica foi realizada nos dois lados da placa bipolar com objetivo de avaliar qualitativamente o perfil voltamétrico, e identificar as reações dos processos de produção dos gases H_2 e O_2 , bem como as reações de redução e oxidação que antecedem essa produção de gases. A Figura 7 apresenta os perfis voltamétricos obtidos para a placa bipolar na solução de KOH a 35%.

negativa (Hahn *et al.* 1986). Para melhor apreciação, a Figura 8 apresenta um detalhe dessa região. De acordo com Garche *et al.* (2009), a transformação do oxihidróxido por sobrecarregamento para a fase γ deve ser evitada uma vez que esta é acompanhada por um aumento do volume do filme levando o eletrodo a perder condutividade pela perda da capacidade de carga durante os sucessivos ciclos.

As reações descritas de oxidação do níquel para hidróxido e oxihidróxido e as subsequentes reduções são esquematizados na Figura 9.

Não foram identificados picos de redução e oxidação de ferro. Estes podem ter permanecido não apreciáveis pela sobreposição dos picos das reações do níquel.

Figura 8 - Região potencial de formação do oxihidróxido de níquel.

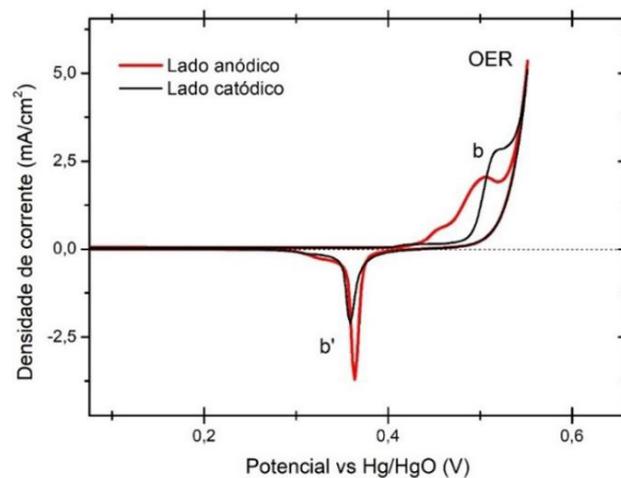
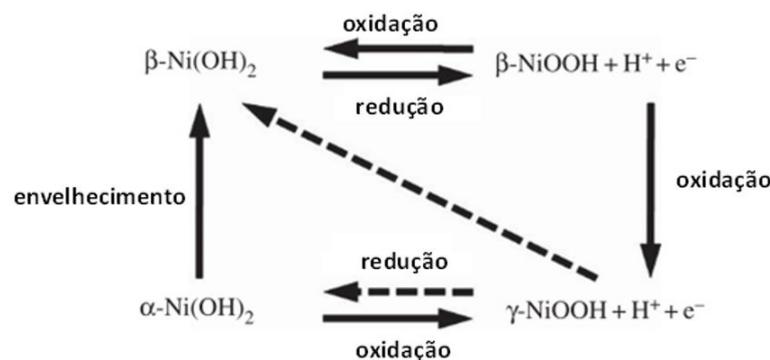


Figura 9 - Esquema geral dos processos de transformação de fases no eletrodo de níquel.



Fonte: Adaptado de (Hall *et al.* 2014).

Na Figura 10.a e na Figura 10.b são apresentadas, respectivamente, curvas da região potencial de despreendimento de H_2 e O_2 em função da temperatura. Na Tabela 1 são mostrados os valores de densidade de corrente para as reações de despreendimento dos gases em diferentes temperaturas. O incremento da densidade de corrente é de 7 vezes a 50°C em comparação com a densidade de corrente a 30°C para ambos os gases enquanto a 80°C o incremento é de 25 vezes para a produção de H_2 e de 27 vezes para a produção de O_2 .

Figura 10 - (a) Voltograma catódico e (b) voltograma anódico da placa bipolar em varredura de potencial a taxa de 2 mV/s em solução de 35% KOH a 30, 50 e 80° C com previa polarização cátodica em 1,15V por 10 minutos.

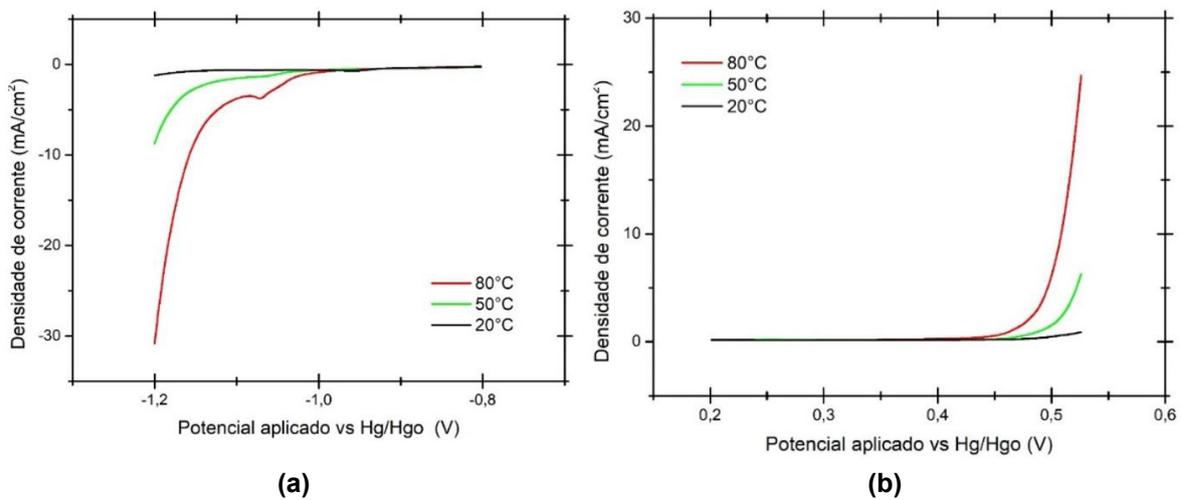
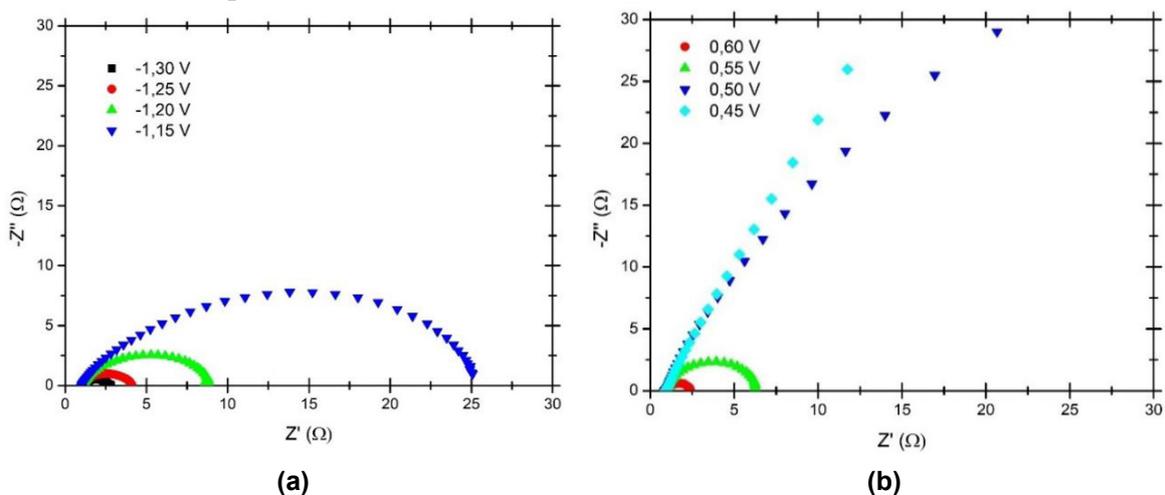


Tabela 1 - Resumo de valores de incremento da densidade de corrente para evolução de H₂ e O₂ em função da temperatura.

Temperatura (°C)	Densidade de corrente (mA/cm ²)	
	H ₂	O ₂
30	-1,23	0,89
50	-8,76	6,27
80	-30,82	24,66

A análise de impedância a diferentes potenciais e temperatura foi realizada em ambos os lados da placa bipolar para caracterização das resistências nas interfaces eletrodo/solução. A figura 11.a e a figura 11.b apresentam os espectros de impedância obtidos para a evolução de hidrogênio e oxigênio, respectivamente.

Figura 11 - Diagramas de Nyquist dos espectros de impedância eletroquímica para a placa bipolar na (a) região potencial de evolução de H₂ e (b) região potencial de evolução de O₂ em solução de 35% KOH a 30°C com perturbação de ± 10 mV.

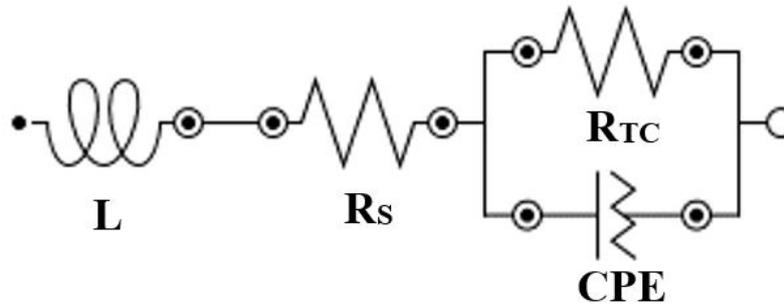


A figura 11.a revela a presença de um semicírculo depressivo. A depressão do semicírculo é devido à heterogeneidade da superfície da placa bipolar conforme observado nas micrografias. Claramente é evidenciado a redução do diâmetro do semicírculo com o incremento do potencial catódico.

Na figura 11.b é observada a formação dos semicírculos a partir do potencial 0,55 V. Potenciais inferiores apresentam a formação de semicírculos não fechados na região de baixa frequência, implicando em grandes resistências à transferência de carga, ou seja, nesta faixa de potencial ainda não ocorre a ativação do processo de evolução de O₂.

A fim de avaliar melhor os fenômenos físicos envolvidos na interface eletrodo/solução, a simulação de um modelo de circuito elétrico equivalente foi utilizada. Um circuito RC em série com uma resistência de solução R_s é utilizado, onde o capacitor da dupla camada é trocado por um elemento de fase constante devido à heterogeneidade da superfície da placa bipolar. A este é adicionado em serie um elemento indutivo para compensar as contribuições a altas frequências dos cabos elétricos da célula e as conexões (Alobaid *et al.*, 2018). Este modelo é amplamente utilizado para representação de fenômenos físicos tais como a heterogeneidade da superfície que resulta da presença de rugosidade, impurezas, porosidade, entre outros (Herraiz-Cardona *et al.*, 2011). O circuito equivalente utilizado é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Circuito elétrico equivalente onde: L: elemento indutivo, R_s: resistência à solução, R_{TC}: resistência à transferência de carga e CPE: elemento de constante de fase.



Os ajustes do circuito equivalente foram realizados utilizando-se o software Nova 2.1. As tabelas 2 e 3 apresentam os valores obtidos pelo ajuste por iteração das resistências e dos parâmetros Y_o e n para cada CPE para os lados catódico e anódico da placa bipolar, respectivamente. O cálculo da capacitância C_{dc} do CPE equivalente é estabelecido a partir dos parâmetros relacionados de Y_o e n utilizando na seguinte equação (Rapelli, 2012):

$$C_{dc} = \left(\frac{Y_o}{(R_s - R_{TC})^{-1+n}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Tabela 2 - Parâmetros obtidos do ajuste dos espectros de impedância eletroquímica da placa bipolar no lado catódico, utilizando um circuito equivalente RC conectado em serie a um resistor e um indutor, no intervalo 100 mHz < f < 10 kHz.

Potencial vs Hg/HgO (V)	L (nH)	R _s (Ω)	R _{TC} (Ω)	CPE		C _{dc} (F)
				Y _o (F)	n	
-1,15	9·10 ⁻⁷	0,99	25,24	3·10 ⁻³	0,69	0,22
-1,20	8·10 ⁻⁷	1,03	7,97	2·10 ⁻³	0,73	0,19
-1,25	8·10 ⁻⁷	1,08	3,03	2·10 ⁻³	0,74	0,18
-1,30	9·10 ⁻⁷	1,16	1,56	1·10 ⁻³	0,76	0,18

Tabela 3 - Parâmetros obtidos do ajuste dos espectros de impedância eletroquímica da placa bipolar no lado anódico, utilizando um circuito equivalente RC conectado em série a um resistor e um indutor, no intervalo $100 \text{ mHz} < f < 10 \text{ kHz}$.

Potencial vs Hg/HgO (V)	L (nH)	Rs (Ω)	R _{TC} (Ω)	CPE		Cdc (F)
				Yo (F)	n	
0,45	$8 \cdot 10^{-7}$	0,88	1163,30	$5 \cdot 10^{-3}$	0,76	0,94
0,50	$8 \cdot 10^{-7}$	0,82	135,61	$1 \cdot 10^{-2}$	0,77	3,89
0,55	$9 \cdot 10^{-7}$	0,91	5,53	$1 \cdot 10^{-2}$	0,88	7,69
0,60	$8 \cdot 10^{-7}$	0,92	1,50	$2 \cdot 10^{-2}$	0,80	5,66

Os valores dos parâmetros obtidos no ajuste dos espectros pelo circuito equivalente são mostrados nas Tabelas 2 e 3. Os resultados mostram resistências da solução muito próximas para cada medida com pequenas variações sendo atribuídas às mudanças na concentração.

Os valores de resistência à transferência de carga apresentam uma diminuição à medida que o potencial é incrementado. No caso da evolução de O_2 , é observado que em potenciais menores que 0,55 V, a resistência é uma e duas vezes maiores que para valores maiores de potenciais.

Os valores da capacitância da dupla camada apresentam uma diminuição quando o potencial é incrementado na evolução do hidrogênio. Isto é atribuído à formação de bolhas na superfície a maiores potenciais que bloqueiam os sítios catalíticos do eletrodo e, portanto, a solução eletrolítica tem acesso eletroquímico reduzido. No caso da evolução do O_2 , apresentam um incremento nos potenciais menores a 0,55 V e logo uma redução para potenciais maiores.

A figura 13 e a Figura 14 apresentam, os espectros das impedâncias em função da temperatura para a evolução de H_2 e O_2 , e seus respectivos diagramas de Bode com as curvas de magnitude absoluta de impedância. Pode ser observado a presença de um semicírculo depressivo para cada espectro e que o diâmetro deste é reduzido em função do incremento de temperatura. Isto implica na redução do valor absoluto da impedância em função da temperatura observados na figura 13.b e na figura 14b. A partir do ajuste das curvas utilizando o mesmo circuito equivalente da figura 12, obtém-se os valores dos parâmetros espectrais, conforme mostram as tabelas 4 e 5.

Figura 13 - (a) Diagramas de Nyquist e (b) diagrama de Bode dos espectros de impedância eletroquímica para a placa bipolar em solução de 35% KOH a 30°C, 50°C e 80°C com perturbação de ± 10 mV em potencial de -1,20 V vs Hg/HgO.

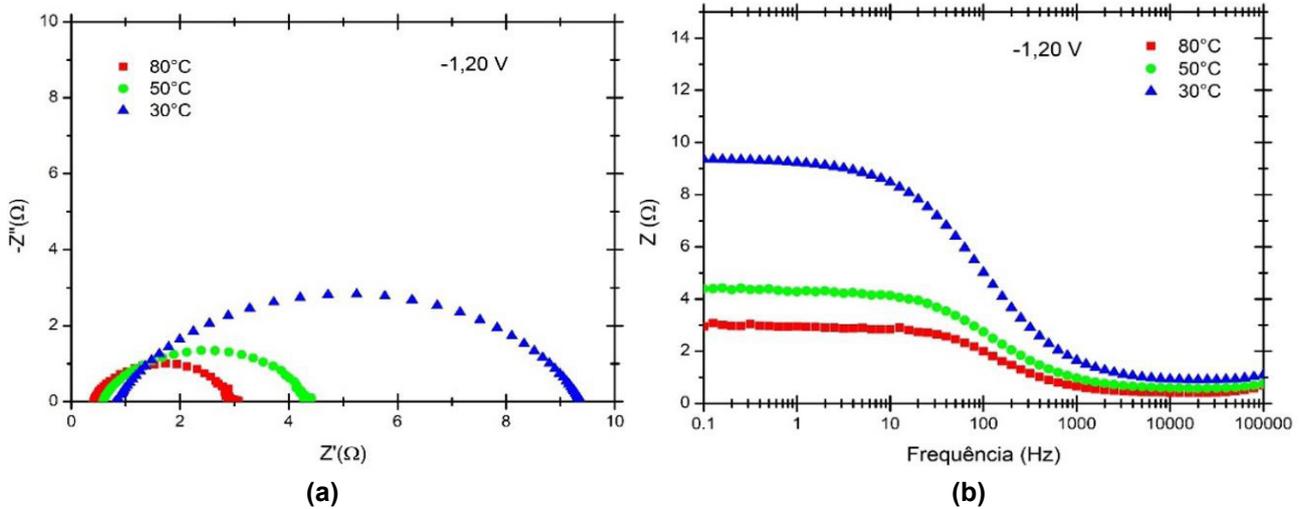


Figura 14 - (a) Diagramas de Nyquist e (b) diagrama de Bode dos espectros de impedância eletroquímica para a placa bipolar em solução de 35% KOH a 30°C, 50°C e 80°C com perturbação de ± 10 mV em potencial de 0,60 V vs Hg/HgO.

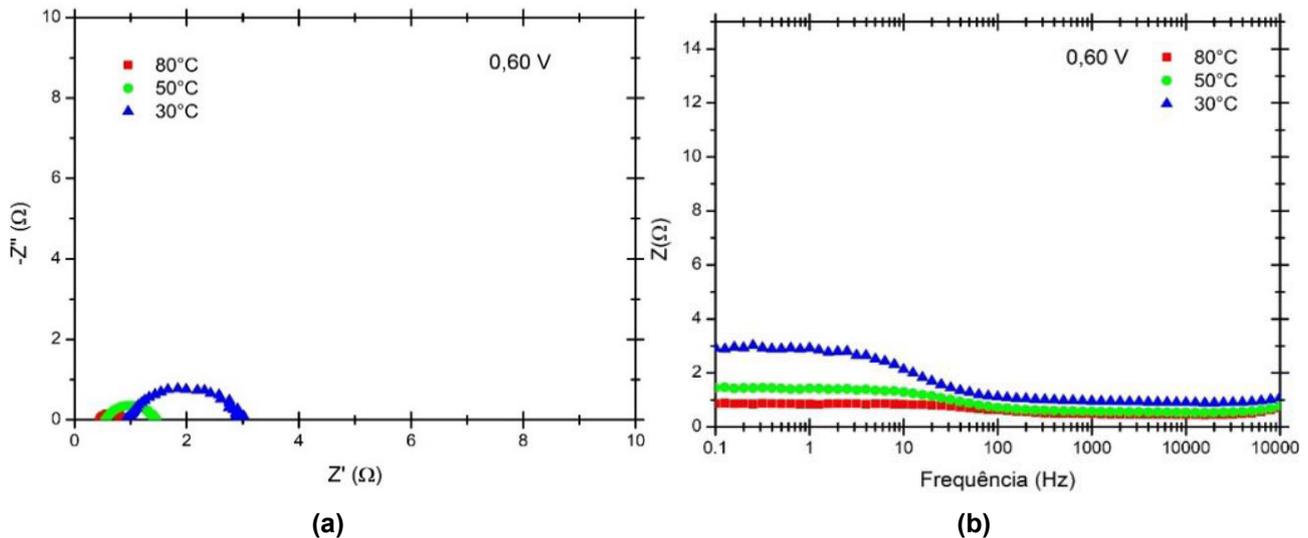


Tabela 4 - Parâmetros obtidos do ajuste dos espectros de impedância eletroquímica da placa bipolar aplicando um potencial de -1,20V vs Hg/HgO a temperaturas de 30°C, 50°C e 80°C, utilizando um circuito equivalente RC conectado em serie a um resistor e um indutor, no intervalo $100 \text{ mHz} < f < 10 \text{ kHz}$.

Temperatura (°C)	L (nH)	Rs (Ω)	R _{TC} (Ω)	CPE		Cdc (F)
				Yo (F)	n	
30	$5 \cdot 10^{-7}$	0,81	8,58	$1 \cdot 10^{-3}$	0,74	0,12
50	$8 \cdot 10^{-7}$	0,57	4,72	$2 \cdot 10^{-3}$	0,79	0,36
80	$8 \cdot 10^{-7}$	0,40	2,57	$2 \cdot 10^{-3}$	0,83	0,39

Tabela 5 - Parâmetros obtidos do ajuste dos espectros de impedância eletroquímica da placa bipolar aplicando um potencial de 0,60 V vs Hg/HgO a temperaturas de 30°C, 50°C e 80°C, utilizando um circuito equivalente RC conectado em serie a um resistor e um indutor, no intervalo 100 mHz < f < 10 kHz.

Temperatura (°C)	L (nH)	Rs (Ω)	R _{TC} (Ω)	CPE		Cdc (F)
				Yo (F)	n	
30	6·10 ⁻⁹	0,91	1,99	1·10 ⁻²	0,84	5,41
50	8·10 ⁻⁷	0,54	0,90	2·10 ⁻²	0,81	5,33
80	8·10 ⁻⁷	0,45	0,42	2·10 ⁻²	0,79	4,64

Nos valores apresentados nas tabelas, é observado que a resistência da solução se reduz com a temperatura. Este mesmo comportamento foi reportado por outros autores (Alobaid *et al*, 2018; Herraiz-Cardona *et al*, 2011). De igual maneira, é observado uma redução da resistência à transferência de carga para os processos de evolução de H₂ e O₂.

A capacitância da dupla camada tem apresentado um incremento em função da temperatura na evolução de H₂, enquanto para a evolução de O₂ esse valor foi reduzido.

Com o objetivo de comparar de forma direta os dois lados da placa bipolar, uma medida de espectroscopia de impedância foi realizada aplicando a mesma densidade de corrente para ambos os lados, uma vez no sentido catódico e outra no sentido anódico. Para isto, a densidade de corrente aplicada foi de 10 mA/cm². Como a placa bipolar utilizada como eletrodo tem uma área de 78,5 mm², a impedância foi medida ajustando-se a corrente no equipamento em modo galvanostático em 12,73 mA. Os diagramas de Nyquist e Bode obtidos são apresentados na figura 15.a e na figura 15.b, respectivamente. Nelas, estão plotadas as curvas obtidas utilizando-se o mesmo circuito equivalente da figura 12. Os parâmetros obtidos dos ajustes do circuito elétrico equivalente são apresentados na tabela 6.

Figura 15 - Parâmetros obtidos do ajuste dos espectros de impedância eletroquímica da placa bipolar aplicando um potencial de 0,60 V vs Hg/HgO a temperaturas de 30°C, 50°C e 80°C, utilizando um circuito equivalente RC conectado em serie a um resistor e um indutor, no intervalo 100 mHz < f < 10 kHz.

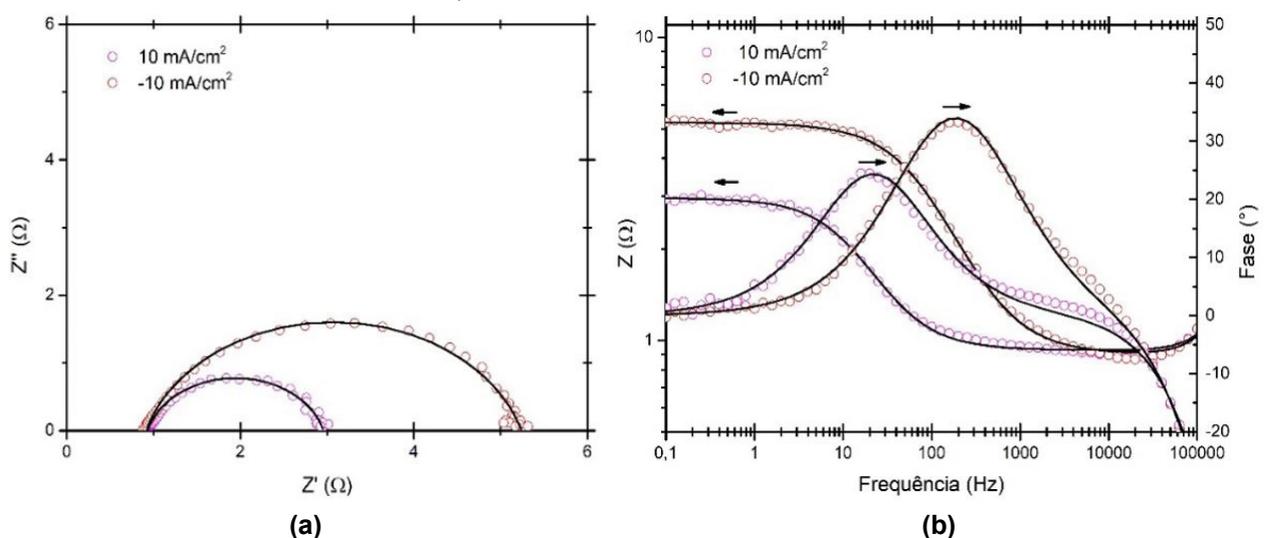


Tabela 6 - Parâmetros obtidos do ajuste dos espectros de impedância eletroquímica da placa bipolar aplicando uma corrente galvanostática de 10 mA/cm² e -10 mA/cm² a temperaturas de 30°C, 50°C e 80°C, utilizando um circuito equivalente RC conectado em série a um resistor e um indutor, no intervalo 100 mHz < f < 10 kHz.

Corrente (mA/cm ²)	L (nH)	Rs (Ω)	R _{TC} (Ω)	CPE		Cdc (F)
				Yo (F)	N	
-10	8·10 ⁻⁷	0,90	4,34	1,8·10 ⁻³	0,81	0,39
10	8·10 ⁻⁷	0,92	2,06	1,7·10 ⁻²	0,80	5,44

Na figura 15.a é observado um semicírculo para cada espectro. O diâmetro do semicírculo do espectro catódico é maior que o do espectro anódico. Isto é corroborado com os resultados obtidos para a resistência à transferência de carga na tabela 6. Também é observado na figura 15.b uma menor impedância absoluta para o espectro anódico em comparação ao espectro catódico. A partir desta observação, conclui-se que, a reação de evolução de O₂ requer menor consumo de energia que a reação de evolução de H₂ na placa bipolar, ou seja, numa placa de aço revestido com níquel. Alobaid *et al.* (2018) chegaram a esta mesma conclusão utilizando um substrato de esponja de níquel revestido com hidróxido duplo em camadas de NiFe. De acordo com Gong *et al.* (2014), o ferro depositado em níquel cumpre um rol catalítico na redução do sobre potencial para evolução de O₂.

Com respeito à capacitância da dupla camada, o espectro catódico apresentou uma capacitância menor que para o espectro anódico. Isto pode ser devido a que a produção estequiométrica de H₂ é duas vezes a de O₂, levando à maior quantidade de bolhas formadas na superfície do lado catódico da placa bipolar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das técnicas de caracterização foi possível identificar que a placa bipolar se trata de um aço com recobrimento de níquel. Este tipo de recobrimento é utilizado para dar proteção à corrosão ao aço em ambientes agressivos que, como no caso do eletrolisador que fica imerso dentro de uma solução alcalina altamente básica de hidróxido de potássio. O recobrimento de níquel em aços reduz o custo do material, pois trabalhar com níquel puro representa um custo maior.

A caracterização por DRX identificou as fases de níquel e ferro com proporção de 5% e 95% comparando com a base de dados. O mapeamento por EDS permitiu observar a composição de níquel na fase externa do material e de ferro na fase interna. As micrografias eletrônicas obtidas no MEV permitiram visualizar uma superfície relativamente rugosa em ambos os lados da placa bipolar com porosidade e trincas formados por processos corrosivos. Apesar da produção de eletrodos requerer a obtenção de áreas altamente porosas, no caso da placa bipolar, que, não tem como função a produção dos gases, a presença de poros pode conduzir à corrosão localizada da placa. Outras micrografias permitiram visualizar que isto conduz ao descolamento e delaminação do recobrimento de níquel, uma vez que os poros expõem o substrato de ferro à solução eletrolítica e, mediante isto, compõem um par galvânico com o recobrimento de níquel.

As técnicas eletroquímicas permitiram identificar o perfil do voltamograma cíclico do níquel em solução de KOH com concentração de 35%, o qual é uma evidência complementar

para identificação do material. A presença de dois picos de oxidação e dois picos de redução foram observados. Os picos anódicos correspondem à formação de α -Ni(OH)₂ e β -NiOOH. Estas reações antecedem à evolução do oxigênio. Os picos catódicos observados correspondem à redução dos óxidos formados na varredura anódica. Com o incremento da temperatura da solução, foi observado o aumento da densidade de corrente nos processos de evolução de H₂ e O₂ em até 25 e 27 vezes a 80°C, respectivamente. Contudo, a temperatura de operação do eletrolisador da PPH do PTI é limitada em 50°C, no qual se observou um incremento de até 7 vezes para ambos os gases. Esta limitação operacional é devida à proteção de outros materiais do eletrolisador com menor desempenho térmico.

A partir do ajuste de um circuito equivalente RC, foi observado, na resistência de transferência de carga para as reações de H₂ e O₂, que este diminui com o aumento do potencial e da temperatura, o que permite maior passagem de elétrons na interface eletrodo/solução, estando em concordância com o incremento de corrente observado na voltametria cíclica. A comparação dos processos de evolução de H₂ e O₂ pela passagem da mesma densidade de corrente nos dois sentidos, demonstrou uma menor resistência à transferência de carga para a produção de O₂ e, portanto, a placa de NiFe tem melhor atividade eletrocatalítica para a produção deste gás. Também foi observada a redução da capacitância da dupla camada em função do incremento de potencial e temperatura com o aumento de bolhas formadas na superfície do eletrodo, limitando a formação da dupla camada na interface da superfície.

REFERÊNCIAS

- Alobaid, A., Wang, C., & Adomaitis, R. A. (2018). Mechanism and kinetics of her and oer on nife LDH films in an alkaline electrolyte. *Journal of The Electrochemical Society*, pp. J3395-J3404.
- Beden, B., Floner, D., Léger, J. M., & Lamy, C. (1985). A voltammetric study of the formation on hydroxides and oxyhydroxides on nickel single crystal electrodes in contact with an alkaline solution. *Surface Science*, pp. 822-829.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2008). *Fundamentals of materials science and engineering. An integrated approach*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, INC.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2020). *Balanco energético nacional*. Rio de Janeiro.
- Garche, J. (2009). *Encyclopedia of electrochemical power sources*. Amsterdam: Elsevier B.V.
- Gong, M., Wang, D.-y., Chen, C.-c., Hwang, B.-j., & Dai, H. (2015). A mini review on nickel-based electrocatalysts for. *Nano Research*, pp. 28-46.
- Hahn, F., Beden, B., Croissant, M. J., & Lamy, C. (1986). In situ UV visible reflectance spectroscopic investigation of the nickel electrode-alkaline solution interface. *Electrochimica Acta*, pp. 335 - 342.
- Herraiz-Cardona, I., Ortega, E., & Pérez-Herranz, V. (2010). Impedance study of hydrogen evolution on Ni/Zn and Ni-Co/Zn stainless steel. *Electrochimica ACTA* 56, pp. 1308-1315.
- Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. (2012). *Informações e análises da economia mineral brasileira*. Brasília: Relatório técnico.
- IRENA. (2021). *World energy transitions outlook: 1.5°C pathway*, International Renewable. Abu Dhabi.

Penttinen, I. M., Korhonen, A. S., Harju, E., Turkia, M. A., Forsén, O., & Ristolainen, E. O. (1992). Comparison of the corrosion resistance of TiN and (Ti,Al)N coatings. *Surface and Coatings Technology*, pp. 161-168.

Rapelli, R. M. (2012). Eletrodos porosos de níquel/zinco para produção de hidrogênio por eletrólise da água. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Itaipu Binacional, ao Parque Tecnológico Itaipu, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná e à Universidade Federal da Integração Latino-Americana.

Biomassa fúngica e resíduo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) no tratamento eficiente e sustentável de efluente têxtil

*Fungal biomass and sugarcane waste (*Saccharum officinarum*) in the efficient and sustainable treatment of textile effluent*

André Felipe Santos Lima

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Materiais de Superfície – CEMACBIOS, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5399-3053>

Marcos Antônio Cavalcanti Luna

Doutor em Biotecnologia, Rede Nordeste de Biotecnologia, RENORBIO, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3861-3422>

Adriana Ferreira de Souza

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Materiais de Superfície – CEMACBIOS, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE, 50050-50, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9527-2206>

Marcos Antônio Barbosa de Lima

Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE 50670-420, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5987-224X>

Galba Maria de Campos-Takaki

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Materiais de Superfície – CEMACBIOS, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE, 50050-50, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>

RESUMO

A indústria têxtil em Tuparetama, Pernambuco, desempenha um papel crucial na economia regional, porém enfrenta desafios significativos devido à geração de efluentes altamente poluídos. Este estudo investigou métodos sustentáveis para o tratamento desses efluentes, com foco na utilização de biomassa fúngica e bagaço de cana-de-açúcar. A metodologia envolveu a caracterização detalhada dos efluentes e a avaliação da eficiência de remoção de cor utilizando albumina de ovo como agente de tratamento primário, seguido pelo uso de biomassa fúngica inativada e bagaço de cana-de-açúcar como pós-tratamento. Os resultados demonstraram que o tratamento com biomassa fúngica inativada alcançou uma



remoção de cor de até 98,3%, enquanto o bagaço de cana-de-açúcar conseguiu até 85,2%. Além da remoção eficaz de cor, observou-se uma redução significativa na turbidez, alcançando 88,5% com o uso de biomassa fúngica inativada. A aplicação desses materiais não apenas melhorou a qualidade da água de forma eficiente, mas também proporcionou uma alternativa sustentável e economicamente viável para a indústria têxtil local. Esses resultados sublinham a importância da adoção de práticas de gestão ambiental responsáveis e inovadoras, não apenas para cumprir com as regulamentações ambientais vigentes, mas também para promover a sustentabilidade e conservação dos recursos hídricos em Tuparetama e áreas similares.

Palavras-chave: biossorção; indústria têxtil; biomassa fúngica; *saccharum officinarum*; corantes; tratamento de efluentes.

ABSTRACT

The textile industry in Tuparetama, Pernambuco, plays a crucial role in the regional economy but faces significant challenges due to the generation of highly polluted effluents. This study investigated sustainable methods for treating these effluents, focusing on the use of fungal biomass and sugarcane bagasse. The methodology involved a detailed characterization of the effluents and evaluation of color removal efficiency using egg albumin as a primary treatment agent, followed by the use of inactivated fungal biomass and sugarcane bagasse as post-treatment materials. The results demonstrated that treatment with inactivated fungal biomass achieved a color removal efficiency of up to 98.3%, while sugarcane bagasse achieved up to 85.2%. In addition to effective color removal, a significant reduction in turbidity was observed, reaching 88.5% with the use of inactivated fungal biomass. The application of these materials not only efficiently improved water quality but also provided a sustainable and economically viable alternative for the local textile industry. These findings underscore the importance of adopting responsible and innovative environmental management practices, not only to comply with current environmental regulations but also to promote sustainability and the conservation of water resources in Tuparetama and similar regions.

Keywords: biosorption; textile industry; fungal biomass; *saccharum officinarum*; dyes; effluent treatment.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui a maior cadeia têxtil do Ocidente, abrangendo todas as etapas de produção, desde o cultivo do algodão até a obtenção do produto final. Em 2022, o setor contava com 24,3 mil empresas formais e produzia, em média, 2,1 milhões de toneladas de tecidos, impulsionando a economia com a geração de empregos. Isso posicionou o setor como o segundo maior empregador da indústria de transformação no Brasil, com um faturamento de 193,2 bilhões de reais (ABIT, 2024).

O estado de Pernambuco é o segundo maior produtor têxtil do país, atrás apenas de São Paulo, destacando-se as cidades de Toritama, Caruaru e Santa Cruz do Capibaribe (SEBRAE, 2013, ITEP, 2020). Juntos, esses municípios respondem por 15% da produção

de vestuário do país, constituindo um grande centro econômico e social de importância para o estado e a região Nordeste (IBGE, 2024). Entretanto, a contaminação das águas dos rios locais aumentou significativamente, com cerca de 40% dos efluentes líquidos sendo despejados no esgoto público, 38% nos canais e 18% diretamente no Rio Ipojuca (Silva *et al.*, 2012).

Durante o beneficiamento têxtil, a utilização de grandes quantidades de água gera volumes significativos de efluentes, aumentando o potencial poluidor da indústria têxtil. Além disso, a disponibilidade de água na região é crítica, pois o agreste pernambucano enfrenta períodos de chuvas escassas e possui poucas fontes hídricas disponíveis. Essa situação coloca em risco a economia local e pode se tornar um obstáculo para o desenvolvimento do setor industrial na região (CPRH, 2005; Holkar *et al.*, 2016; Ramos *et al.*, 2021).

De acordo com a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH, 2005), as lavanderias têxteis de jeans causam grandes impactos ambientais na água, no ar e no solo, acarretando em alterações climáticas, perda de espécies de animais e habitats, poluição atmosférica e contaminação dos lençóis freáticos. Em resposta, foram implementadas várias medidas para frear e punir quem causar impactos negativos ao meio ambiente, sintetizadas na Lei n. 6.938/81. Até 2005, nenhuma lavanderia era licenciada, mas o licenciamento tornou-se um critério obrigatório para a obtenção do alvará.

Os métodos aplicados para o tratamento de efluentes têxteis baseiam-se em fundamentos biológicos, físicos e químicos. Entre esses, o tratamento físico-químico é geralmente o mais empregado, sendo considerado um processo convencional que permite a reutilização de 50 a 60% da água utilizada nas lavagens das fibras de tecido. No entanto, esses processos apresentam um elevado custo para as lavanderias, e muitas delas no polo têxtil de Pernambuco utilizam esses métodos de forma precária, devido à falta de conhecimento sobre dosagens e parâmetros operacionais adequados (Duarte e Silva, 2020).

Outro método que se destaca é o processo de adsorção, conhecido por ser eficaz, econômico e fácil de operar, especialmente no tratamento de corantes (Devi; Saroha, 2017). Além disso, os processos utilizando biosorventes têm recebido maior atenção nos últimos tempos. Esses métodos focam na busca de materiais alternativos, como resíduos agroindustriais e biomassas de microrganismos, devido ao seu baixo custo e alta capacidade de sorção em meios aquosos (Shrivastava, 2011).

No presente estudo, foram avaliados os potenciais de biossorção da biomassa fúngica *Cunninghamella echinulata* UCP 1298 e do bagaço de cana-de-açúcar como pós-tratamento de efluente têxtil de lavanderia em Tuparetama, Pernambuco – PE, visando mitigar os impactos ambientais e fomentar a sustentabilidade na indústria têxtil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do Efluente Têxtil

O efluente bruto foi coletado de uma lavanderia industrial de jeans em Toritama, Pernambuco, diretamente do tanque de entrada da estação de tratamento de efluentes. Para avaliar a carga poluidora, foram realizadas análises físico-químicas, incluindo potencial hidrogeniônico (pH), cor, turbidez, condutividade elétrica, cloreto, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos inorgânicos e orgânicos, dureza da água, determinação de cálcio, sulfato, demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Os métodos seguidos foram os propostos pela American Public Health Association (Apha; Awwa; Wef, 1998).

Obtenção e Preparação dos Agentes de Tratamento

A albumina foi obtida a partir de claras de ovos de galinha, submetida à desidratação por liofilização e pulverização para obtenção de pó fino com granulometria Tyler/mesh 100 (150 μm). Este pó foi utilizado para o tratamento do efluente industrial.

O bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) foi fornecido por um estabelecimento comercial em Recife-PE. O material foi lavado com água destilada, seco e pulverizado em moinho para obtenção de partículas de aproximadamente 1 mm. Posteriormente, o bagaço pulverizado foi tratado com 0,12 g de NaOH por grama de peso seco e autoclavado a 121°C por 20 minutos. Após autoclavagem, o bagaço foi lavado até neutralidade com água de torneira e, em seguida, com água destilada, sendo finalmente seco a 80°C.

A biomassa fúngica foi obtida a partir do fungo *Cunninghamella echinulata* UCP 1298 do CEMACBIOS (detalhes adicionais podem ser fornecidos). O fungo foi cultivado em meio de cultura contendo NH_4NO_3 (0,1 g), H_2PO_4 (0,02 g), MgSO_4 (0,02 g) e 4% de NaCl, suplementado com 10% de farinha de banana verde e 5% de milhocina. O meio foi incubado em frascos de Erlenmeyer a 28°C sob agitação de 150 rpm por 96 horas.

Tratamento do Efluente Têxtil

O tratamento do efluente têxtil da lavanderia de Toritama (PE) foi realizado utilizando o método descrito por Ohashi *et al.* (2012) com albumina de ovo. Foi adicionado 0,4% de albumina sob condição estática e agitação a 150 rpm, a 28°C e pH 5, por períodos de 30, 60, 90 e 120 minutos. A eficiência de descoloração foi avaliada por espectrofotometria a 652 nm. A atividade de descoloração foi calculada conforme a Equação de Gupta *et al.* (2011):

$$\text{Descoloração (\%)}: \frac{\text{Abs}_{\text{amostra}}}{\text{Abs}_{\text{controle}}} \times 100$$

Onde:

- $\text{Abs}_{\text{amostra}}$: valor da absorbância após tratamento;

- $\text{Abs}_{\text{controle}}$: valor da absorbância do efluente sem tratamento.

Pós-tratamento (Polimento)

O pós-tratamento foi realizado utilizando o melhor ensaio baseado no parâmetro de cor. Foram testados o bagaço de cana-de-açúcar e a biomassa fúngica.

Bagaço de Cana-de-açúcar

Foram utilizadas concentrações de 4, 8, 12 e 16 g/L de bagaço de cana-de-açúcar, variando o pH para 2 com ácido clorídrico, e submetidas a autoclavagem por 30, 60, 90 e 120 minutos.

Biomassa Fúngica

Foram utilizadas concentrações de 4, 8, 12 e 16 g/L de biomassa fúngica foram testadas, incluindo a biomassa inativada por autoclavagem a 121°C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização físico-química do efluente de uma lavanderia industrial são apresentados na tabela 1. Os parâmetros analisados indicam níveis elevados de compostos liberados durante o processo de lavagem de jeans.

Tabela 1 - Parâmetros da caracterização físico química do efluente bruto e a comparação com resolução de CONAMA, 2011 e outras legislações.

Parâmetros	Valores	Legislação	Unidade
pH	3,6	5 - 9	
Turbidez	95,82	5 *	NTU
Condutividade elétrica	2, 563	-	Us
Cloreto	376,38	250	mg/L
Sólidos totais	2396	500**	mg/L
Sólidos dissolvidos	2180	500**	mg/L
Sólidos suspensos	216	60*	ML/L
Sólidos inorgânicos	1955	-	mg/L
Sólidos orgânicos	441	-	mg/L
Dureza da água	301,5	500*	mg/L
Determinação do cálcio	46,09	-	mg/L
Sulfato	622,02	250	mg/L
DQO	396,23	90*	mg/L O ₂
DBO	147,5	60*	mg/L

Fonte: Portaria 5181/MG 2004; CONAMA 357/05

O pH do efluente foi medido em 3,6, indicando uma alta acidez. Na indústria têxtil, a utilização de diversos corantes pode resultar em variações significativas de pH, com valores extremos variando de 2 a 12. Nesse contexto, sugere-se um pré-tratamento do efluente para correção do pH.

Macroscopicamente, o efluente bruto apresentou uma coloração azul predominante e um sedimento abundante composto por fibras, conferindo-lhe uma turvação perceptível.

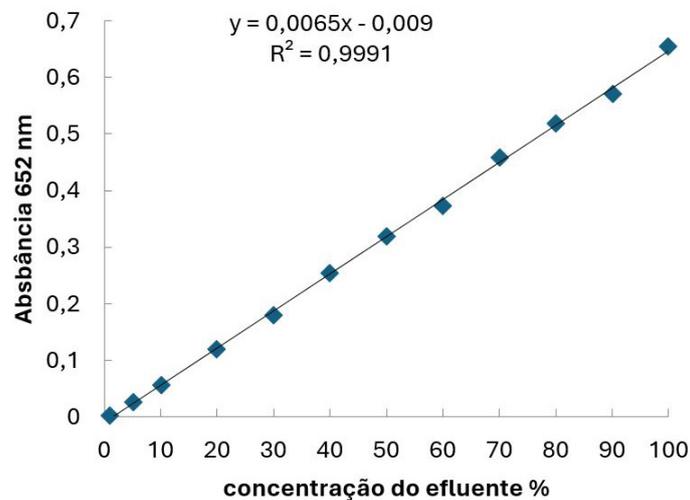
A turbidez medida para o efluente de lavanderia foi de 95,82 NTU, indicando uma condição não aceitável conforme a legislação ambiental. A turbidez é determinada pela falta de transparência da amostra, relacionada à presença de material em suspensão (Portaria 5181/MG, 2004).

A análise revelou a presença significativa de sólidos dissolvidos, principalmente de material coloidal orgânico e inorgânico, como mostrado na Tabela 1. Os sólidos dissolvidos contribuíram substancialmente para a intensidade da cor e turbidez do efluente de lavanderia. Destaca-se que a cor verdadeira é obtida após a centrifugação ou filtração da amostra, eliminando assim a interferência de partículas suspensas na água.

Para quantificar a intensidade da cor do efluente, cujo corante específico não foi identificado, foi necessário realizar uma curva de calibração, observando um pico de absorção em 652 nm. Amostras do efluente foram diluídas de 10% a 90%, e suas absorbâncias correspondentes foram estabelecidas (Figura 1). Uma equação de regressão linear foi derivada para determinar as taxas de remoção em função das absorbâncias do efluente tratado e do efluente após o processo de polimento.

A análise sobre a condutividade elétrica apresentou valores de 2,563 Us, demonstrando uma elevada condutividade do efluente, a qual está associada à concentração de sais, cloretos e sulfatos. Níveis elevados neste parâmetro, demonstram alterações dos corpos d'água salinizando-os, e conseqüentemente, causando o desequilíbrio do ecossistema.

Figura 1 - Curva de calibração do efluente de lavanderia industrial para obtenção da equação da reta



Fonte : autoria própria.

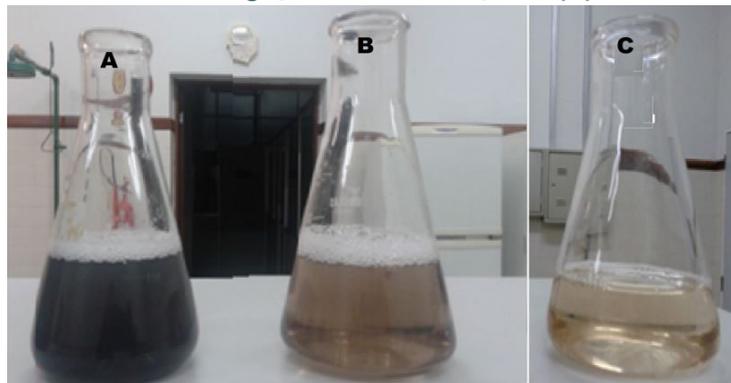
A avaliação do processo de tratamento do efluente de lavanderia industrial focou na remoção de cor, um parâmetro essencial para a qualidade da água tratada. A Figura 2-A ilustra a intensidade inicial da cor do efluente bruto, enquanto as Figuras 2-B e 2-C mostram, respectivamente, o efluente tratado e o resultado após o pós-tratamento (polimento).

Os resultados obtidos demonstraram uma redução na cor do efluente de lavanderia industrial de 62,5% utilizando albumina de clara de ovo, com um subsequente pós-tratamento com biomassa fúngica que alcançou uma remoção de cor de 98,3%.

A remoção de corante utilizando biomassa viva envolvem mecanismos altamente complexos. A parede celular, composta principalmente por polissacarídeos, proteínas e lipídeos, apresenta numerosos grupos multifuncionais que possibilitam interações por meio de processos físicos e químicos entre as moléculas do corante e esses grupos ativos na superfície celular (Pizzato, *et al.*, 2017).

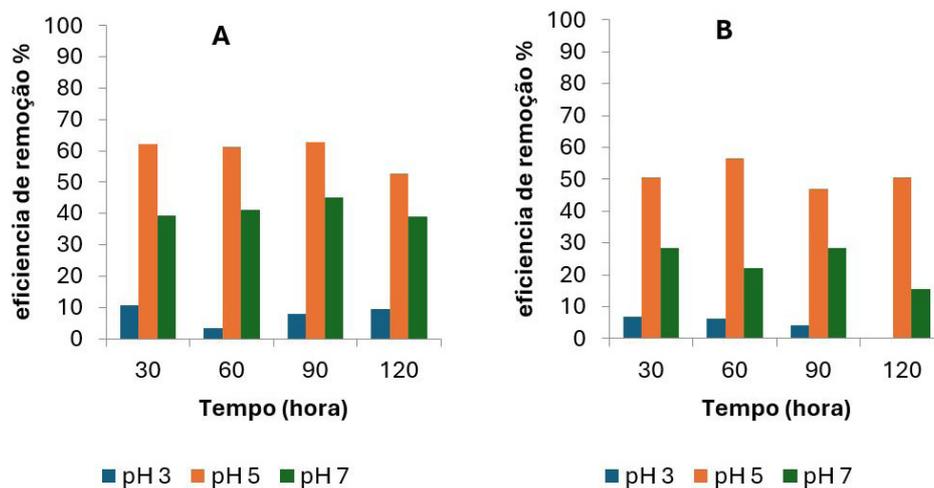
A eficiência do tratamento com albumina na remoção de cor do efluente foi avaliada em diferentes pHs e tempos de contato, mantendo-se as condições de agitação a 150 rpm. Os resultados são apresentados nas Figuras 3-A e 3-B. Observou-se que tanto a agitação quanto o pH influenciaram significativamente o processo de remoção de cor, destacando-se especialmente a condição de agitação e tempo de 90 minutos (Figura 3-A).

Figura 2 - Efluente bruto (A), efluente tratado com albumina (B) e pós tratado “polimento” com bagaço de cana-de-açúcar (C).



Fonte : autoria própria

Figura 3 - Eficiência de remoção de cor do efluente em diferentes pH e tempos de contato sob condições de agitação (A) e estática (B) utilizando albumina.



Fonte : autoria própria

O processo de pós-tratamento do efluente de lavanderia foi realizado utilizando a melhor condição dos ensaios com a albumina, sendo utilizado o intervalo de tempo de 90 minutos na condição sob agitação orbital de 150 rpm.

A eficiência da descoloração do efluente industrial com o pós-tratamento (tabela 2), foi verificado que a melhor condição para remoção da cor do efluente com o polimento foi obtida com uso da biomassa inativada de *Cunninghamella echinulata*, com uma remoção de 98,3%.

Tabela 2 - Resultado da eficiência do polimento no pós-tratamento nos intervalos tempo (minutos) no processo de remoção de cor do efluente de lavanderia industrial utilizando diferentes concentrações de bagaço de cana e biomassa fúngica.

Amostras	Concentração g/L	Tempo (horas)/ Remoção da cor %			
		30	60	90	120
Bagaço de cana	4	73.1	80.6	82.7	85.2
Bagaço de cana	8	83.3	78.7	78.1	81.7
Bagaço de cana	12	80.8	79.2	80.2	79.8
Bagaço de cana	16	80.9	78.4	76.7	79.2
Bagaço de cana*	4	86.5	83.6	84.6	84.6
Bagaço de cana*	8	83.8	77.2	80.8	82.5
Bagaço de cana*	12	81.1	74.2	78.1	77.6
Bagaço de cana*	16	83.3	77.5	80.9	83.5
Biomassa viva	4	88.8	83.9	75.9	89.1
Biomassa viva	8	90.1	82.7	83.0	86.5
Biomassa viva	12	88.7	86.3	87.1	88.0
Biomassa viva	16	88.0	84.1	85.2	86.3
Biomassa inativada	4	91.8	90.7	91.8	92.9
Biomassa inativada	8	93.1	93.7	95.3	93.7
Biomassa inativada	12	97.6	97.8	98,2	98.1
Biomassa inativada	16	98.1	96.7	98,3	98,2

Fonte : autoria própria

O pós-tratamento utilizando bagaço de cana-de-açúcar nos primeiros 30 minutos mostrou eficiência imediata, alcançando remoções de 73,2% a 83,3%. A redução do pH para 2 aumenta a concentração de íons H^+ , resultando em uma carga positiva na superfície do resíduo. O bagaço de cana-de-açúcar é composto principalmente por lignocelulose contendo numerosos grupos carboxila e hidroxila (Zhang *et al.*, 2011), cujos grupos são protonados em condições ácidas, permite interações com corantes carregados negativamente.

De Leon *et al.* (2020) obtiveram resultados melhores quando corrigiram o efluente ao pH ácido. Nesse estudo, foi alcançada uma remoção de cor de até 71% quando o pH foi ajustado para 2.

Os melhores resultados foram obtidos com a biomassa fúngica viva com 88 a 90,1% e a biomassa inativada com remoção de 91,8 a 98,3%. A remoção corantes utilizando biomassa fúngica envolvem mecanismos altamente complexos, uma vez que grupos químicos da parede celular dos fungos, tais como amina, fosfato, carboxila, sulfato, sulfidril e hidroxila que são sugeridos como sítios de ligação de poluentes (Prigione *et al.*, 2012). A biomassa fúngica do grupo Mucorales são reconhecidas pelo alto teor de quitina e quitosana (De Souza *et al.*, 2020, Silva *et al.*,2022), polímeros considerados como materiais mais eficientes no processo de tratamento de águas residuais (Beck *et al.*, 2019; Sirajudheen *et a.*, 2021), devido à sua alta estabilidade físico-química, área superficial e porosidade (Ahmed, Hameed, Hummadi, 2020; Sirajudheen *et al.*, 2021).

Prigione *et al.* (2012) realizaram uma comparação entre biomassas de fungos ascomicetos, como *Aspergillus strictum* e *Acremonium* sp., inativadas, e a biomassa liofilizada do fungo mucoromiceto *Cunninghamella elegans* como biossorbentes de

corantes. Enquanto as biomassas dos ascomicetos demonstraram resultados satisfatórios na remoção de corantes, a biomassa liofilizada de *C. elegans* se destacou ao alcançar uma descoloração rápida, com eficiência de até 99%. Eles também destacaram a diferença na composição da parede celular, ressaltando a presença significativa de quitosana em fungos mucoromicetos como *C. elegans*, que desempenha um papel crucial no processo de bioadsorção (Crini e Badot, 2008).

Costa 2008, investigou o tratamento físico-químico utilizando tanino (TANFLOC), e o polímero (POLICAP - 32) sobre as variáveis respostas cor e turbidez, atingindo níveis de 96 % na redução da cor e 79 % na redução de turbidez.

Os resultados com a turbidez ao final do processo de polimento com biomassa inativada foi de 10,9 NTU, verificando-se redução da turbidez de 88,5% em comparação com o efluente bruto não tratado. Quanto ao pH final manteve-se em torno da neutralidade 6,27.

Os resultados obtidos sugerem que se pode utilizar apenas o tempo de 30 minutos no processo de pós-tratamento reduzindo o tempo e conseqüentemente o custo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou alternativas sustentáveis de pós-tratamento, explorando biomassa fúngica e biomassa lignocelulósica de bagaço de cana-de-açúcar na descoloração de efluente têxtil, apresentando potencial para mitigar os impactos ambientais adversos associados às operações industriais. A contribuição desta pesquisa reside nas iniciativas sustentáveis que ampliam a capacidade de otimizar os processos produtivos e fortalecer a conformidade com regulamentações ambientais. O contínuo desenvolvimento de tecnologias de tratamento de efluentes mais eficientes e econômicas é crucial para aprimorar esses métodos, adaptando-os às exigências específicas da indústria têxtil local e garantindo sua sustentabilidade técnica e econômica a longo prazo. As descobertas sugerem estratégias para aprimorar o processo de bioadsorção de corantes têxteis em unidades de pós-tratamento de efluentes têxteis.

REFERÊNCIAS

AHMED, M. J.; HAMEED, B. H.; HUMMADI, E. H. **Review on recent progress in chitosan/chitin-carbonaceous material composites for the adsorption of water pollutants**. Carbohydrate polymers, v. 247, p. 116690, 2020.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Associations; WEF - **Water Environment Federation**. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed. Washington, D.C.: APHA, 1998. 1220 p.

ABIT. **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção**. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acessado em 25/06/2024

BECK, Benjamin H. *et al.* **Antimicrobial activity of the biopolymer chitosan against Streptococcus iniae**. Journal of fish diseases, v. 42, n. 3, p. 371-377, 2019.

CONAMA, Resolução Nº 430/2011 - **Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente** - CONAMA. - Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89

CPRH, **Diagnóstico Técnico ambiental das lavanderias de Toritama**. CPRH, Recife, 2005. www.cprh.com.org.br

CRINI, Gregorio; BADOT, Pierre-Marie. **Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature**. Progress in polymer science, v. 33, n. 4, p. 399-447, 2008.

DE LEON, Vitória Brocardo *et al.* **Artificial neural network for prediction of color adsorption from an industrial textile effluent using modified sugarcane bagasse: characterization, kinetics and isotherm studies**. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, v. 14, p. 100387, 2020.

DE SOUZA, Adriana Ferreira *et al.* **Biotechnological strategies for chitosan production by mucoralean strains and dimorphism using renewable substrates**. International Journal of Molecular Sciences, v. 21, n. 12, p. 4286, 2020.

DEVI, Parmila; SAROHA, Anil K. **Utilization of sludge based adsorbents for the removal of various pollutants: A review**. Science of the Total Environment, v. 578, p. 16-33, 2017.

DUARTE, A. D.; SILVA, G. L. da. **Aplicação da ferramenta de Análise de Ciclo de Vida (ACV) no processo de tratamento de efluentes em uma lavanderia de beneficiamento de jeans**. Exacta, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 355-367, 2020.

GHALY, A. E. *et al.* **Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review**. J Chem Eng Process Technol, v. 5, n. 1, p. 1-19, 2014.

HOLKAR, Chandrakant R. *et al.* **A critical review on textile wastewater treatments: possible approaches**. Journal of environmental management, v. 182, p. 351-366, 2016.

IBGE- **Instituto Brasileiro de geografia e Estatística**. <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 29 jun. 2024.

Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP (2020). Arranjos Produtivos Locais. <http://www.itep.br/arranjosprodutivos-locais>.

PIZATO, Everton *et al.* **Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo Lasiodiplodia theobromae MMPI**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 22, p. 1027-1035, 2017.

PRIGIONE, Valeria *et al.* **Fungal waste-biomasses as potential low-cost biosorbents for decolorization of textile wastewaters**. Water, v. 4, n. 4, p. 770-784, 2012.

RAMOS, Márcio Daniel Nicodemos *et al.* **A critical analysis of the alternative treatments applied to effluents from Brazilian textile industries**. Journal of Water Process Engineering, v. 43, p. 102273, 2021.

SEBRAE. **Estudo econômico do Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano**, 2012. Relatório final. Recife, 2013.

SILVA, Ákylla Fernanda Souza *et al.* **Green synthesis of chitosan by Cunninghamella elegans UCP 1306 using sustainable substrates mediated morphological changes**. Research, Society and Development, v. 11, n. 7, p. e38211729387-e38211729387, 2022.

SILVA, M. V. A. *et al.* **A Questão Ambiental no polo de confecções de Caruaru: Um primeiro ensaio à luz dos instrumentos econômicos de proteção ambiental.** Revista Estudos do CEPE, Santa Cruz do Sul, v. 35, p. 108-132, 2012.

SIRAJUDHEEN, Palliyalil *et al.* **Applications of chitin and chitosan based biomaterials for the adsorptive removal of textile dyes from water—A comprehensive review.** Carbohydrate polymers, v. 273, p. 118604, 2021.

SRIVASTAVA, Preeti; HASAN, Syed Hadi. **Biomass Of Mucor hiemalis For The Biosorption Of Cadmium From Aqueous Solutions: Equilibrium And Kinetic Studies.** BioResources, v. 6, n. 4, 2011.

ZHANG, Zhanying *et al.* **Congo Red adsorption by ball-milled sugarcane bagasse.** Chemical Engineering Journal, v. 178, p. 122-128, 2011.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o convívio e as excelentes contribuições do Dr. Tadashi Ohashi † (Professor Titular da área Têxtil da Escola Técnica SENAI Paulista, 53417-710, PE, Brasil), como também a bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) a G.M.C.T. Processo nº 312241/2022-4 e grant.

A influência da matéria orgânica do resíduo doméstico na indução das mudanças climáticas

The influence of organic matter from household waste in inducing climate change

Adriana Adrielle Lima Pinto

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8228-2399>*

Luiz Henrique Rodrigues

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9368-9656>*

Artur Pereira Dutra

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5431-578X>*

Leidson Ramos de Sousa

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8358-9821>*

João Vitor da Silva Chagas

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0842-779X>*

Eliana Cristina Barreto Monteiro

*UPE; Escola ICAM-TECH, Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. ORCID:
<https://orcid.org/0000-0003-0842-779X>*

Galba Maria de Campos-Takaki

Biomoléculas e Superfície de Materiais-CEMACBIOS, MCTI/UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>

RESUMO

Este capítulo de livro busca por meio de uma revisão bibliográfica, evidenciar as pesquisas mais recentes na influência da matéria orgânica do resíduo doméstico na indução das mudanças climáticas. Definindo o que é resíduo doméstico e analisando a quantidade de resíduo gerado nos anos de 2019 (que teve um aumento de 10% da geração de resíduo orgânico por conta da pandemia do covid-19) e 2022 no Brasil e na região Nordeste. Juntamente mostrando de forma clara os problemas que o acúmulo de resíduo orgânico quando destinado de forma não segura, em lixões. Onde é gerando o metano (CH₄), um gás de efeito estufa com capacidade de aquecimento global maior que o CO₂. O Chorume é o líquido que



escoa de locais de disposição final de lixo, resultado da umidade presente nos resíduos, da água gerada durante a decomposição da matéria orgânica e das chuvas com capacidade de contaminar águas subterrâneas. É um grande desafio para a humanidade mitigar as consequências das mudanças climáticas, nesse artigo, serão abordadas duas formas de mitigação. Utilizando o tratamento do chorume para a biofertilização de legumes como alface e cenoura, e o tratamento do biogás para a produção de energia renovável através da digestão anaeróbica. Concluindo que, as consequências do efeito estufa é uma realidade. Sendo cada vez mais necessário explorar tecnologias inovadoras e melhorar a capacidade de gerar benefícios como os biofertilizantes e a produção de energia verde, reduzindo os impactos ao meio ambiente.

Palavras-chave: biogás; chorume; mudanças climáticas.

ABSTRACT

This book chapter seeks, through a literature review, to highlight the most recent research on the influence of organic matter from domestic waste in inducing climate change. Defining what domestic waste is and analysing the amount of waste generated in 2019 (which saw a 10% increase in the generation of organic waste due to the covid-19 pandemic) and 2022 in Brazil and the Northeast region. Along with clearly showing the problems caused by the accumulation of organic waste when disposed of unsafely in landfills. Where it generates methane (CH₄), a greenhouse gas with a greater global warming capacity than CO₂. Leachate is the liquid that flows from final waste disposal sites, resulting from the moisture present in the waste, the water generated during the decomposition of organic matter and rain that can contaminate groundwater. It is a great challenge for humanity to mitigate the consequences of climate change; in this article, two forms of mitigation will be addressed. Using slurry treatment for the biofertilization of vegetables such as lettuce and carrots, and biogas treatment to produce renewable energy through anaerobic digestion. In conclusion, the consequences of the greenhouse effect are a reality. It is increasingly necessary to explore innovative technologies and improve the capacity to generate benefits such as biofertilizers and the production of green energy, reducing impacts on the environment.

Keywords: biogas; climate change; slurry.

INTRODUÇÃO

O lixo trata-se de uma vasta diversidade de resíduos sólidos de diferentes procedências, dentre eles, o resíduo sólido urbano gerado em residências. Sua produção é inevitável. O lixo faz parte da história do homem, na Idade Média acumulava-se pelas ruas e imediações das cidades, provocando sérias epidemias e causando a morte de milhões de pessoas (Da Silva Barros *et al.*, 2021).

Já durante a Revolução Industrial iniciou-se o processo de urbanização, provocando um êxodo do homem do campo para as cidades. Observou-se assim um vertiginoso crescimento populacional, favorecido também pelo avanço da medicina e consequente aumento da expectativa de vida. Logo, os impactos ambientais causados pela matéria

orgânica do resíduo doméstico passaram a ter um grau de magnitude alto, devido aos mais diversos tipos de poluição (Fraguas & Gonzalez, 2020).

Logo, os resíduos domiciliares tornaram-se um problema, por conta do mal cheiro, ou por questões estéticas, sem saber verdadeiramente qual a dimensão das consequências, o qual deveria ser combatido e escondido da população. A solução para o lixo naquele momento bastava simplesmente afastá-lo, descartando-o em áreas mais distantes dos centros urbanos, denominados lixões (Matos & Cardoso, 2024).

Atualmente os resíduos orgânicos provenientes de residências são considerados uma ameaça à vida no Planeta por duas razões fundamentais: a sua quantidade, sua toxicidade e falta de ações mitigadoras. Por todos os continentes, o mercado influencia o consumidor a obter diversos produtos e a substituírem os mais antigos por outros, mais modernos, provocando a insensatez do uso indiscriminado dos recursos naturais, que por maioria das vezes sequer são renováveis (Marchi & Gonçalves, 2020).

REFERENCIAL TEÓRICO

Resíduo Orgânico Doméstico no Brasil

No Brasil, um estudo da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) revelou que em 2022 foram geradas 81,8 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Isso representa uma produção diária de 224 mil toneladas de resíduos, com cada brasileiro gerando em média 1,043 kg por dia (ABRELPE, 2022, p.16). As regiões que mais contribuíram para esse total foram: sudeste (49,7%), nordeste (24,7%) e sul (10,8%). As regiões centro-oeste (7,5%) e norte (7,4%) foram as que menos geraram resíduos, refletindo a correlação entre o desenvolvimento econômico e a produção de resíduos (SINIR, 2022).

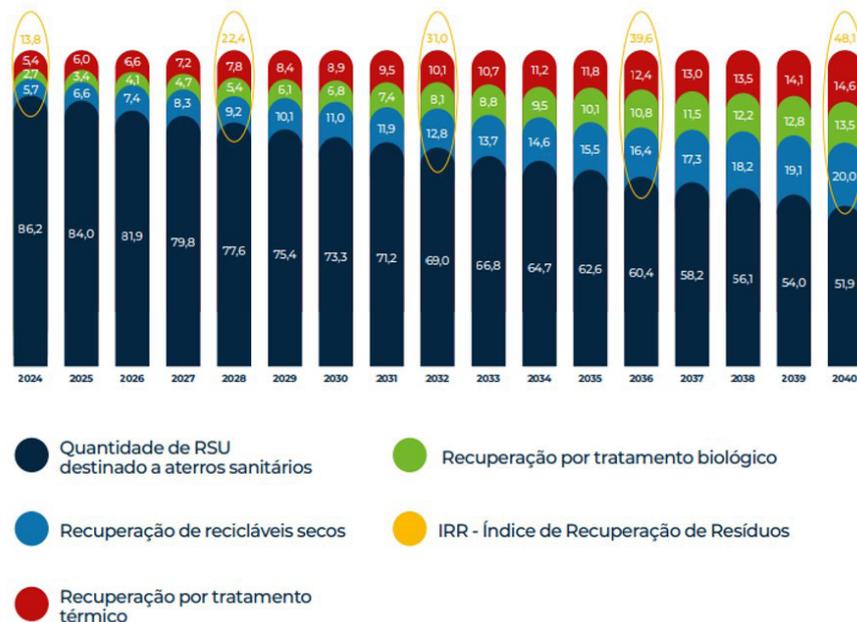
Os resíduos orgânicos representam aproximadamente 50% da fração dos resíduos sólidos urbanos. Em seguida, estão os materiais recicláveis secos (28%) e os rejeitos (22%). Esses resíduos são compostos principalmente por restos alimentares e resíduos de jardinagem descartados por atividades humanas. No ambiente natural, os materiais orgânicos se decompõem espontaneamente, reciclando nutrientes através de processos como os ciclos do carbono e do nitrogênio. No entanto, quando esses materiais orgânicos são gerados em grande volume e descartados de forma inadequada podem se tornar um sério problema ambiental (Embrapa, 2021).

Os resíduos orgânicos possuem um potencial econômico significativo para serem convertidos em fertilizante, biogás e energia. Contudo, apenas 1% desses materiais descartados é reaproveitado. A disposição de resíduos orgânicos em lixões ou aterros sanitários gera o chorume, um líquido escuro e poluente, rico em matéria orgânica, que pode contaminar o solo e as águas subterrâneas. Além disso, resulta na emissão de odores desagradáveis, promove a proliferação de vetores de doenças e libera metano, um importante gás de efeito estufa, que contribui significativamente para o aquecimento global (Proença, 2018). O metano é responsável por aproximadamente 30% do aumento das temperaturas globais desde o período pré-industrial. Comparativamente, molécula por

molécula, o metano possui um potencial de aquecimento 80 vezes superior ao dióxido de carbono. As emissões de metano estão impulsionando a mudança climática, veja como reduzi-las (UNEP, 2021).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), instituído pelo Decreto Federal nº 11.043/2022, é o principal instrumento previsto na Lei nº 12.305, de 2010, e traz as diretrizes, metas, estratégias e ações para modernizar a gestão de resíduos sólidos no País, de forma a colocar em prática as disposições constantes da Lei. Para fins de elaboração da presente estimativa, foram consideradas quatro metas do Planares: i) Eliminação de lixões e aterros controlados até 2024; ii) Recuperação da fração orgânica por meio de sistemas de tratamento biológico; iii) Recuperação da fração seca dos recicláveis por processos de reciclagem e iv) Recuperação e aproveitamento energético por meio do tratamento térmico. Tais metas são apresentadas no gráfico 1 a seguir, que considera o horizonte dos marcos temporais do Planares, com início em 2024 e fim em 2040 (ABRELPE, 2022, p.35).

Gráfico 1 – Metas do Planares por tipo de destinação final de RSU (%).



Fonte: ABRELPE, 2022.

Resíduo Orgânico Doméstico no Nordeste

Conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a região Nordeste encaminha cerca de 6,97 milhões de toneladas de resíduos domésticos e públicos para aterros sanitários. Adicionalmente, 4,70 milhões de toneladas são destinadas a lixões e aterros controlados. Enquanto 1,07 milhões de toneladas são direcionadas para unidades de transbordo (SINIR, 2021). As regiões Norte e Nordeste, seguidas pelo Centro-Oeste, destacam-se por apresentarem os mais baixos indicadores relacionados ao manejo adequado dos resíduos domiciliares (Brasil, 2023a). A Tabela 1 permite avaliar o baixo índice na destinação dos resíduos orgânicos a unidades de compostagem por macrorregião. Evidenciando que as regiões Norte e Nordeste apresentam os menores resultados (Brasil, 2023b).

Tabela 1 – Quantidade de resíduos orgânicos encaminhada para unidades de tratamento, taxas de tratamento e déficits por região.

Regiões	Quantidade de Orgânicos Destinada à Unidade de Compostagem (t/ano)	Tratamento de Resíduos Orgânicos (%)	Metas PLANSAB 2023	Déficit do Tratamento de Resíduos Orgânicos (%)
Centro-Oeste	40.427,80	0,78%	3,40%	2,62%
Nordeste	9.505,60	0,06%	1,80%	1,74%
Norte	3.007,00	0,06%	1,90%	1,84%
Sudeste	89.103,30	0,31%	3,30%	2,99%
Sul	132.211,70	1,63%	3,30%	1,67%
Brasil	274.255,40	0,43%	2,80%	2,37%

Fonte: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2023b, p.58

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu art. 3º, inciso VII, definiu que destinação final ambientalmente adequada compreende a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, dentre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar impactos ambientais adversos (Brasil, 2010).

De acordo com o Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta a Lei nº 12.305, de 2010, o sistema de coleta seletiva deve garantir, no mínimo, a distinção entre resíduos secos e orgânicos, separados dos rejeitos. Contudo, nos sistemas de entrega de resíduos recicláveis (secos e orgânicos) ainda persiste uma quantidade significativa de resíduos misturados. Esta questão indica a necessidade de implementar ações de educação ambiental para a população. A falta de segregação adequada dos resíduos diminui o potencial de reaproveitamento dos materiais, resultando na sua transformação em rejeitos que são destinados às unidades de disposição final (Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2022, p. 23).

Resíduo Orgânico Doméstico na Pandemia

Em 2020 o mundo foi surpreendido pela pandemia da covid-19, muitos estados e municípios brasileiros, observaram mudanças significativas nos padrões de geração de resíduos sólidos. Embora haja uma escassez de dados específicos e detalhados sobre o aumento exato de resíduos orgânicos durante este período, é possível fazer algumas considerações gerais baseadas em tendências observadas em outras regiões e informações preliminares.

51% dos municípios brasileiros descartam resíduos em lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2021). Apenas 38,7% dos municípios têm coleta seletiva, e apenas 5,3% dos resíduos recicláveis foram triados em 2019 (SNIS, 2020). A pandemia agravou a situação, com um aumento na geração de resíduos sólidos urbanos para 82,5 milhões de toneladas, comparado aos 79 milhões de toneladas dos dois anos anteriores (ABRELPE, 2021).

Alguns fatores colaboraram para o aumento dos resíduos com a restrição da circulação em via pública: aumento do consumo doméstico; fechamento de restaurantes,

lanchonetes e comércios; alterações de consumo de produtos frescos. Essas medidas fizeram com que os Resíduos Sólidos Urbano (RSU) tivesse um aumento de 10% (ABRALPE, 2021). Já que cerca de 50% dos resíduos no Brasil são orgânicos (EMBRAPA, 2021). Logo 5% desse aumento foi orgânico

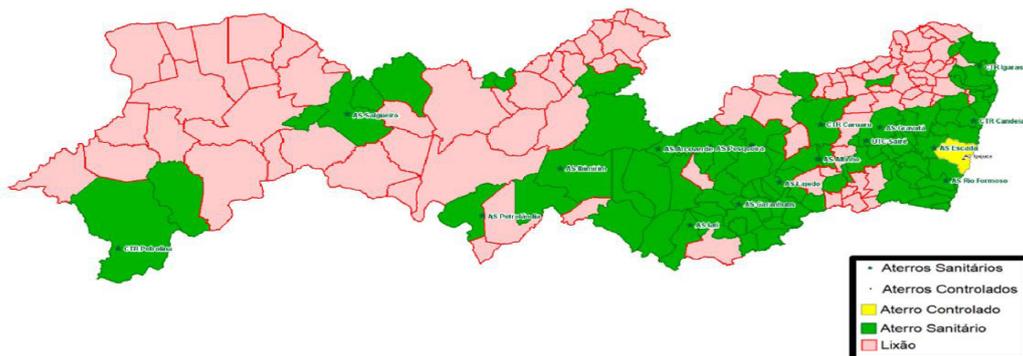
Resíduo Orgânico Doméstico e a Geração de Gases de Efeito Estufa em Pernambuco

Pernambuco é um estado composto por 185 municípios, tendo mais de 9 milhões de habitantes, com 14 cidades compondo a Região Metropolitana do Recife, reunindo mais de 3,7 milhões de pessoas de acordo com o censo de 2022 IBGE.

4,4 milhões de toneladas de resíduos sólido urbano são gerados em Pernambuco por ano, que é aproximadamente 1,34kg/hab./dia (ALEPE, 2023). Logo 0,64kg/hab./dia de resíduos orgânico (Gama, 2020).

Em 2019 o Tribunal de Contas do Estado (TCE) fez um levantamento de como e onde era feita a destinação final dos resíduos sólidos pernambucano, e relatou que eram usados lixões, aterro controlado e aterros sanitários. A figura 1 abaixo mostra a destinação dos RSU no estado.

Figura 1 – Situação da destinação final do lixo em Pernambuco em 2019.



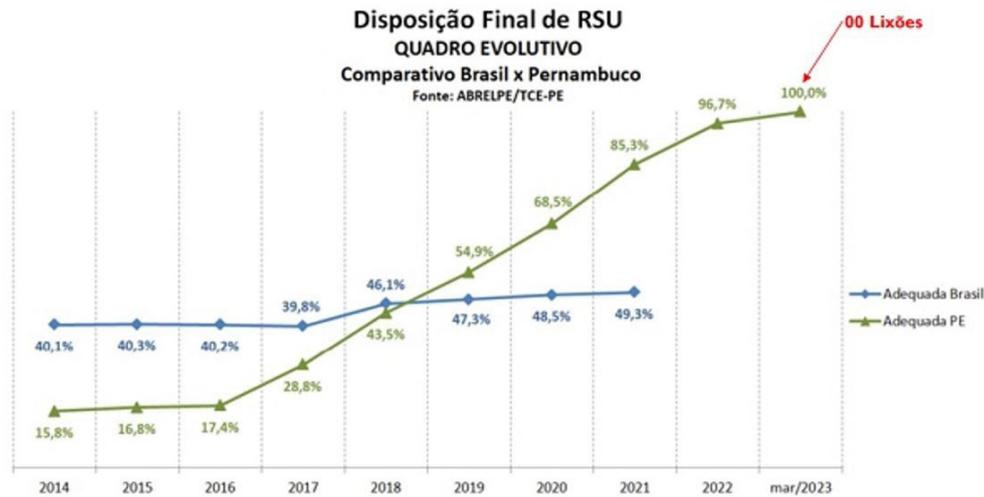
Fonte: TCE-PE, 2019

No panorama do TCE, não existem lixões na região metropolitana do Recife, porém só Ipojuca deposita seus resíduos em aterro controlado, e em todo estado 92 municípios depositam seus RSU em aterros sanitários, mas 91 municípios ainda destinam seus resíduos em lixões.

No mesmo ano da análise do TCE foram lançados na atmosfera pelos pernambucanos 27,7 milhões de toneladas de Gases de Efeito Estufa, e no ano seguinte foi lançado 23,9M tCO₂ sendo a menor quantidade de GEE dos últimos 6 anos anteriores. As informações dos lançamentos dos GEE foram divulgadas ao público em 2019 em Recife pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Semas-PE) na Conferência Brasileira de Mudança do Clima.

Em 4 anos Pernambuco conseguiu encerrar as atividades em todos os lixões que restavam no panorama que mostrou a gráfico 2 do ano de 2019. O gráfico 2 abaixo mostrará a evolução da destinação correta dos resíduos causando assim o fim da destinação inadequada.

Gráfico 2 – Curvas da Disposição Final de RSU.



Fonte: TCE-PE, 2023.

Comparado ao cenário nacional em 2021 Pernambuco estava 36% a frente do país em encerramento de atividades de lixões e mostrando que em março de 2023 100% dos lixões foram desativados no estado.

Essa evolução do gerenciamento dos resíduos é de muita importância, com as atividades dos lixões a parte orgânica dos resíduos gera o metano (CH₄) um gás de efeito estufa com capacidade de aquecimento global maior que o CO₂.

Podendo mitigar essas ações, os aterros sanitários continuam gerando CH₄ mas de forma canalizada sendo capaz de transformar em biogás realizado através da digestão anaeróbia acelerada (DAA). Esse processo de decomposição é desempenhado por diferentes tipos de microrganismos em um ambiente com escassez de oxigênio. O processo é acelerado por equipamentos específicos que otimizam as condições reacionais, aumentando assim a velocidade da conversão (Soares *et al.*, 2017). Os aterros sanitários são opções mais eficazes para a produção de biogás, pois utilizam tecnologias de coleta dos gases emitidos por meio de tubulações de captura e combustão dos mesmos (Lyra *et al.*, 2018).

Impactos da Matéria Orgânica do Resíduo Doméstico no Meio Ambiente

Nas últimas décadas, o aumento de resíduos gerados foi três vezes maior que o populacional, como consequência, é registrado um grande volume de lixo produzido no mundo. A taxa de geração de resíduos sólidos urbanos é ligada às formas de consumo de cada cultura local, onde se nota uma correlação estreita entre a produção de lixo e o poder econômico de uma dada comunidade (Neckel, 2021).

Um dos problemas mais visíveis nos lixões é o chorume, é o líquido que escorre de locais de disposição final de lixo. É resultado da umidade presente nos resíduos, da água gerada durante a decomposição dos mesmos e também das chuvas que percorrem através da massa do material descartado. É um líquido com alto teor de matéria orgânica e que pode apresentar metais pesados provenientes da decomposição de embalagens metálicas e pilhas. A composição final do chorume é fruto do tipo de lixo depositado e do seu estado de degradação (Rodrigues *et al.*, 2023).

Historicamente, por falta de estudos sobre os lixões são construídos em vales, nas proximidades ou dentro de leitos de cursos d'água, o que torna o chorume um agente de comprometimento de recursos hídricos e lençóis freáticos. Por serem na verdade uma mera disposição de resíduos a céu aberto, é construída sobre terrenos que permitem não apenas o escoamento do chorume, mas a sua infiltração no solo, levando à contaminação das águas subterrâneas (Matos & Cardoso, 2024).

É um composto com alto potencial poluidor, que pode ser encontrado em diversos ambientes dentro de um mesmo ecossistema ou em diferentes. O chorume possui importante relevância em relação à poluição das águas, sendo que a presença deste afeta a qualidade das águas dos mananciais de superfície e os subterrâneos. O chorume polui os solos nos locais nos quais infiltram, mas também as águas subterrâneas. Além da questão ambiental, há um agravante, que é o comprometimento da saúde humana e animal. Isso ocorre porque as águas e solos contaminados são utilizados para sobrevivência, através do consumo das águas e da produção de alimentos nos solos (Nohara *et al.*, 2023).

O chorume ainda produz um odor desagradável, o que também é considerado como aspecto da poluição. Além disso, essa condição atrai animais que transmitem doenças, como ratos, baratas e insetos diversos. A produção do chorume é acentuada nos verões, quando aumentam os índices pluviométricos, intensificando ainda mais o problema (De Freitas Barreira & Monteiro, 2023).

Mitigação da Disposição da Matéria Orgânica do Resíduo Doméstico e Mudanças Climáticas

Primeiramente a destinação adequada, a melhor forma do descarte, no caso que cause menos impacto ambiental, são os aterros sanitários, nos mesmos, o resíduo sólido municipal sofre uma decomposição promovida por bactérias que metabolizam a matéria orgânica, produzindo dióxido de carbono (CO₂) e usando para isso alguma espécie química como receptor de elétrons. Tal processo pode ser classificado como um processo de respiração, no qual o agente oxidante que comumente atua como receptor de elétrons é o oxigênio atmosférico (O₂), diminuindo a dispersão de componentes nocivos na biosfera (De Freitas Barreira & Monteiro, 2023).

Além das questões com a poluição atmosférica, também é o mais eficiente na em proteger os solos e lençóis freáticos. Como os aterros sanitários são cobertos com solo e é compactado com tratores, de modo a minimizar o acesso de vetores de doenças ao resíduo, o oxigênio atmosférico também encontra dificuldade em entrar em contato com o lixo e a sua concentração diminui até valores não significativos, à medida que a matéria orgânica é oxidada. Mesmo na ausência de oxigênio, bactérias do tipo facultativas, que podem viver tanto em condições aeróbias (presença de oxigênio), quanto em condições anaeróbias (ausência de oxigênio), assim como as bactérias estritamente anaeróbias, promovem a degradação da matéria orgânica, usando para isso espécies receptoras de elétrons como o Mn (IV), nitrato (NO₃), Fe (III) e sulfato (SO₄) (Costa *et al.*, 2020).

Também pode ocorrer, na escassez destes, uma fração da matéria orgânica se reduz produzindo metano (CH₄), onde o carbono apresenta o seu menor número de oxidação possível (-4), enquanto parte da matéria orgânica, que transferiu elétrons para

a formação do metano, é transformada em CO₂, caracterizando a digestão anaeróbia do resíduo. Na natureza os processos anaeróbios ocorrem comumente em ambientes onde a entrada de oxigênio é dificultada. Tais processos são algumas vezes percebidos pelo cheiro desagradável que emanam, uma vez que a respiração que utiliza o SO₂ como receptor de elétrons produz H₂S, com seu característico cheiro de ovo podre (Silva *et al.*, 2023).

Para evitar consequências como as mudanças climáticas, estão sendo criadas soluções com matéria orgânica. A utilização dos corantes na indústria têxtil desencadeando a contaminação dos seus efluentes e seu descarte sem tratamento prévio gera impactos ambientais. Para a imobilização e degradação das substâncias contaminantes, a técnica mais eficiente e seletiva é a adsorção, onde as moléculas do corante são removidas quando se aderem na superfície do adsorvente. A utilização de materiais de baixo custo provenientes de resíduos de materiais orgânicos que são descartados em residências, como casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho, caroço de açaí, casca de laranja, bagaço de frutas no geral *in natura* ou como carvão ativado são ótimos recursos para remoção de substâncias indesejadas. Nas informações disponibilizadas no levantamento apontam que a maioria dos materiais adsorventes alternativos apresenta eficiência alta quando comparada com carvão comercial ou outros, devido às boas propriedades morfológicas. Independentemente dos tratamentos físico-químicos, a viabilidade dos adsorventes é comprovada (Piquet & Martelli, 2022).

As mudanças climáticas já são uma realidade, e surge uma demanda por alternativas de energias renováveis, visto que os combustíveis fósseis têm causado problemas ambientais, além da variabilidade de preços e a tendência de diminuição da oferta. Então, o biogás tem se tornado uma alternativa interessante para a produção de energia renovável e apresenta potencial de crescimento exponencial. Diante disso, esse artigo de revisão tratou da contextualização e análise do uso do biogás como fonte de energia, a partir de resíduos orgânicos. O processo de digestão anaeróbia pode ser uma alternativa ambiental viável para o tratamento de resíduos orgânicos, provenientes de condomínio e moradias, produzindo biogás e se tornando uma fonte de energia renovável. Porém, é um processo que exige condições específicas por envolver um sistema microbiológico, mas, se as condições operacionais forem otimizadas, faz com que o processo seja eficiente, como mostram os estudos apresentados (Sousa & Rizzato, 2022).

Análise do Potencial de Tratamento e Reutilização do Chorume, Principal Contaminante da Matéria Orgânica do Resíduo Doméstico

Algo que atualmente é amplamente divulgado é que as lagoas de estabilização são comuns no tratamento de lixiviado no Brasil devido a condições favoráveis e baixo custo. No entanto, o acúmulo de sólidos no fundo da lagoa, sujeito à decomposição anaeróbia, pode resultar em concentrações finais acima dos limites legais. O desempenho das lagoas indica a eficiência do sistema de pré-tratamento de chorume, o qual possui um papel fundamental na redução das concentrações de nitrogênio amoniacal do chorume bruto que pode ser tratado (Rodrigues *et al.*, 2023).

O chorume também está sendo utilizado para a biofertilização de legumes como alface e cenoura. As lagoas citadas acima colaboram para que ele possa ser filtrado e

tratado, conservando apenas os nutrientes presentes. A eficácia da diluição chorume de composteira num sistema hidropônico para cultivo de alface, deixando de lado o uso de fertilizante líquido industrializado. Além de economizar muita água de irrigação, o chorume é muito nutritivo e fornece nutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas, que se equiparam aos fertilizantes industriais (De Freitas Barreira & Monteiro, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta revisão são apontadas as consequências e estratégias para que o resíduo doméstico seja menos agressivo ao meio ambiente, demonstrado através da análise dos números do resíduo doméstico em nível nacional. Pesquisas sobre a pandemia do covid-19 apontam que aproximadamente 30% do aumento da temperatura global é a presença do metano, que por sua vez, além de aumentar drasticamente a geração de resíduo no tempo, levou ao aumento do efeito estufa. É recomendado como uma das formas de mitigação o uso do biogás obtido por decomposição da matéria orgânica, possibilitando a geração de energia limpa e o reuso do chorume, como fertilizante para hortaliças. Contudo, torna-se necessário maior incentivo para o desenvolvimento de mais pesquisas, multidisciplinar a fim da busca da eficiência econômica e da qualidade de vida, em atendimento aos objetivos da Agenda 2030.

REFERÊNCIAS

- Abrelpe. (2022). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022. <https://abrelpe.org.br/panorama>.
- Alepe. (2023). Assembleia Legislativa do Estado de Pernambuco. Heróis invisíveis: Catadores de materiais recicláveis lutam por reconhecimento e remuneração. <https://www.alepe.pe.gov.br/especial/?noticia=497352>.
- Brasil. Lei 12.305. (2010). Gov.br. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.
- Brasil. (2023a). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Caderno de Debates. <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/cadernos-de-debates>.
- Brasil. (2023b). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Modelo para cálculo de necessidade de investimentos: Cadernos Temático. <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/cadernos-tematicos>.
- Costa, I., Saldanha, E. C., & Monte, C. do N. (2020). A sazonalidade de contaminantes em águas subterrâneas e superficiais entorno de um aterro sanitário na região Amazônica. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(6), 371–382. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.006.0030>
- Da Silva, B., Da, R., Da Paixão, E. D. F., Edjarbas, M., Fabeni, J. G., Galvão, P., Zago, Rio, B. L.-N. A. L. N. C. E. N., & Atitudes, R. (2021). Barra limpa-não ao lixo na cidade e no rio, reciclando atitudes. *RCMOS-Revista Científica Multidisciplinar O Saber*, 1(2), 127–135.
- De Almeida, R., & Campos, J. C. (2020). Análise tecnoeconômica do tratamento de lixiviado de aterro sanitário. *Revista Ineana*, 8(1), 6-27.

- De Freitas Barreira, I. B., Monteiro, L. P. C., & Composteira, C. D. A. H. O. C. C. D. (2023). Cultivo de alface hidropônica orgânica com chorume e composteira. *Revista Destaques Acadêmicos*, 15(3).
- Embrapa. (2021). Resíduos orgânicos - Portal. Embrapa.br. <https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/secoes/residuos-organicos>.
- Figueirôa, E. (2023). Pernambuco consegue zerar número de lixões no Estado. Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco. <https://tcepe.tc.br/internet/index.php/noticias/415-2023/marco/6941-atuacao-do-tce-pernambuco-consegue-zerar-numero-de-lixoes-no-estado>.
- Fraguas, T., & Gonzalez, C. E. F. (2020). O lixo eletrônico no contexto da Educação Ambiental, seu histórico e suas consequências. *Revista Cocar*, 14(30).
- IBGE. (2023). Gov.br. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>.
- Inventário de Gases de Efeito Estufa de Pernambuco. (2020). Gov.br. <https://semas.pe.gov.br/inventario-de-gee/#:~:text=Os%20resultados%20estimam%20que%20Pernambuco,%C3%ADndice%20dos%20seis%20anos%20acompanhados>.
- Marchi, C. M. D. F., & Gonçalves, I. D. O. (2020). Compostagem: a importância da reutilização dos resíduos orgânicos para a sustentabilidade de uma instituição de ensino superior. *Revista Monografias Ambientais*, 1, 1. <https://doi.org/10.5902/2236130841718>
- Matos, F., & Cardoso, I. M. (2024). “Não existe planeta B”: Política pública sobre descarte de E-lixo no Brasil. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, 21(1), 217-234.
- Morandini, L. P., Caline, B., Soranzo, K., Mibielli, G., & Bender, J. P. (2023). Caracterização físico-química de chorume de aterro sanitário. *SEPE-Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFFS*, 12.
- Neckel, N. R. M. (2021). Corpos em gestos de interpretação: extra-ordem-lixo ou suj (os) eitos, é preciso falar de ideologia. *Revista Crítica Cultural*, 16(2), 175–184.
- Nohara, N. M. L., Siqueira, A. F., Aguiar, L. G. D., Oliveira, G. C. K. D., Nohara, E. L., Alcântara, M. A. K. D., & Napoleão, D. A. D. S. (2023). Estudo da eficácia de uma formulação ZnO-TiO₂ na degradação de substâncias húmicas em chorume maduro por fotocatalise solar. *Revista Ambiente & Água*, 18.
- Piquet, A. B. M., & Martelli, M. C. (2022). Bioadsorventes produzidos a partir de resíduos orgânicos para remoção de corantes: uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(3), e27311326506–e27311326506.
- Plano Nacional de Resíduos Sólidos. (2022). Sinir.gov. <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/> ISBN 978-65-88265-15-4
- Proença, L. C. (2018). Gestão de Resíduos Orgânicos. Gov.br; MMA - Ministério do Meio Ambiente. <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%ADduos-org%C3%A2nicos.html>.
- Resíduos Sólidos e suas classificações. (2022). Orizon. <https://orizonvr.com.br/residuos-solidos-e-suas-classificacoes/>
- Rodrigues, F. A. M., Bila, D. M., De Souza, M. A. V., Sousa, Z. D. S. B., Dos Santos Lacerda, D., Zidan, P. M., & Santos, G. F. (2023). Lagoas de pré-tratamento de chorume. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 21, 21556–21577.
- Silva, M. L. D., Pedro, G. A., Santos, W. R., & Guimarães, D. H. P. (2023). Cultivo de Spirulina máxima em meio modificado com chorume para a produção de biocarvão. Em *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Química*.

SINIR. (2021). Relatório Nacional de gestão de resíduos sólidos. Gov.Br. <https://relatorios.sinir.gov.br/relatorios/nacional/?ano=2019>

Soares, S. S., Júnior, J. B. G., Mendes, L. M., Mendes, R. F., de Paula Protásio, T., & Lisboa, F. N. (2017). Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 8(2).

UNEP. (2021). As emissões de metano estão impulsionando a mudança climática. Veja como reduzi-las. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/emissoes-de-metano-estao-impulsionando-mudanca-climatica-veja>

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as bolsas concedidas pela FACEPE para A.P.D. e J.V.S.C., e pela CAPES para L.R.S. e A.A.L.P., e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) Processo nº 312241/2022-4 grant concedido a G.M.C.T.

Separação de materiais recicláveis com inteligência artificial

Low-cost automated waste sorting machine: concept

João Alves Rodrigues Pereira

Agrimar Pinheiro de Moura

Mike de Jesus Oliveira

Antônio Carlos Santos de Arruda

Fabio Yoshiaru Noguti

RESUMO

A grande demanda de produção de lixo, em nossa vida atual, ter se tornado um grande desafio e preocupação aos governantes, gestores das entidades público e privadas e para a sociedade civil de modo geral. Não somente pelos danos ambientais causados em decorrência do mal tratamento do lixo e seu descarte no meio ambiente, como também dos prejuízos causados ao bem-estar das populações que são afetadas de diversas formas negativas por conta da falta cuidado com o lixo dispensado, como o surgimento de epidemias e endemias, contaminação radioativa, proliferação de vetores transmissores de doenças, decadência social entre outros. Desta forma, este artigo propõe o projeto de construção de uma máquina seletora de resíduos sólidos recicláveis de baixo custo com o intuito de servir como um elemento auxiliador no processo de tratamento do lixo e conseqüentemente minimizar os danos ambientais e sociais.

Palavras-chave: reciclagem; automação; sustentabilidade.

ABSTRACT

The huge demand for waste in our lives today has become a major challenge and concern for governments, public and private managers and civil society in general. Not only because of the environmental damage caused by the poor treatment of waste and its disposal in the environment, but also because of the damage caused to the health and well-being of populations who are affected in various negative ways by the lack of care taken with waste, such as the emergence of epidemics and endemics, radioactive contamination, the proliferation of disease-transmitting vectors, social decay, among others. This article therefore proposes the construction of a



low-cost recyclable solid waste sorting machine with the aim of serving as an auxiliary element in the waste treatment process and consequently minimizing environmental and social damage.

Keywords: recycling; automation; sustainability.

INTRODUÇÃO

Conforme dados do Portal Sustentabilidade (2022) estima-se que cada brasileiro gera cerca de 1 quilo de lixo por dia, o que resulta em 80 milhões de toneladas de lixo por ano. Atrelada aos avanços de políticas e legislação específicas para o tratamento do lixo como a Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o esforço das instituições público-privadas, alguns resíduos sólidos têm tido reaproveitamento exemplar, como é o caso do alumínio, que em 2021, alcançou o total de 98,7% de reciclagem (Brasil, 2022).

Diante da necessidade de agilizar a prática de seleção de materiais descartados no meio ambiente e no recolhimento para o tratamento sanitário, o referido artigo pretende apresentar o projeto de construção de uma máquina seletora de resíduos sólidos recicláveis de baixo custo. Sua utilização será verificada em ambiente industrial, de modo que determinados detritos posteriormente deverão ser encaminhados há cooperativas e órgãos de tratamento de reciclados e sua posterior conversão em matéria-prima para a fabricação de novos produtos. Desta forma o presente trabalho apresentará os mecanismos de constituição de tal maquinário automatizado, seu conceito e fundamento na utilização prática.

DESENVOLVIMENTO

A história da civilização nos revela que o homem nem sempre relegou os cuidados com o saneamento básico e o lixo a um patamar abaixo na sua prioridade social como atualmente parecemos notar. Alguns estudiosos e pesquisadores se esmeraram em revisar a história para entender os cuidados das populações e os processos que tais questões compreendiam para assim entender a cadeia evolutiva do que observamos atualmente sobre o tratamento do lixo e saneamento. Conforme observa Eigenheer (2009, p. 25), embora alguns autores deem ênfase às discussões relativas aos cuidados com o lixo somente a partir da Idade Média, é importante notar que desde a época da antiguidade algumas cidades já possuíam práticas e técnicas importantes de cuidados com seu lixo e dejetos (Eigenheer 2009, p. 25).

Eigenheer observa que as grandes civilizações do mundo através dos tempos foram criando os seus métodos e cuidados ao tratamento do seu lixo produzido. Cita-se neste cenário os sumérios, assírios, hindus, israelitas, gregos, romanos, egípcios, levando-se em consideração os diferentes contextos aos quais estes povos se submeteram, como secas, guerras, calamidades e pestes além das características do lixo produzido e a forma social com que lidavam com ele, em consonância com fatores como posição geográfica, clima, disponibilidade da água, religião, entre outros além de observar que as pessoas que

lidavam com tal processo sofriam certos estigmas, os quais são perceptíveis a nós nos dias atuais (Eigenheer, 2009, p. 25).

HISTÓRIA DO LIXO NO BRASIL

No Brasil a história do lixo é basicamente mais perceptível e registrada em meados do século XVIII. O Rio de Janeiro ainda era a capital do reino e o aumento populacional na cidade foi consequência da visibilidade que ela passou a exercer em âmbito nacional. Segundo Andrade e Gallo (2019), este aspecto resultou em um grande acúmulo de lixo pela cidade. Nesta época não havia e nem se pensava a ter um programa de tratamento do lixo e nem de coleta em porta como conhecemos hoje, nem de forma superficial. As pessoas descartavam os seus lixos em terrenos baldios, nas ruas, jogavam nos rios ou enterravam em seus quintais. Havia também dispensas de lixo conhecidas como vazadouros, nas praias. Os negros escravizados eram obrigados a fazer o descarte do lixo nestes locais.

Conforme citam os autores, os lixos nesta época eram compostos por entulho, corpos e carcaças de animais mortos além de barris com sobras de água suja, fezes e urina, uma vez que não havia esgoto nesta época. A partir de 1853, já após a Proclamação da Independência, perante a aprovação de um projeto de regulamentação do transporte do lixo, os escravos foram preservados dessa função. (Andrade; Gallo, 2019).

REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação deste artigo se baseia a partir da coleta de dados e informações na literatura priorizando os elementos mais recentes existentes nos sistemas nacionais de controle de dados sobre os resíduos sólidos no país, normas técnicas e órgãos de controle ambientais, de modo a ilustrar a importância e pertinência do projeto aqui proposto.

OS RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme ABNT 10004 (2004), resíduos sólidos:

São resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A referida norma trata sobre a classificação dos resíduos sólidos, de modo que se tenha assim a identificação dos processos ou atividades que originaram tal resíduo, apresentando suas características e atribuições específicas as quais são necessárias para o devido controle das suas substâncias constituintes e o seu impacto à saúde e no meio ambiente e o seu posterior manejo.

De acordo com ABREMA (2022) os resíduos sólidos urbanos (RSU) são responsáveis pela maior parte do lixo constituído no país. Conforme a associação, a partir de dados

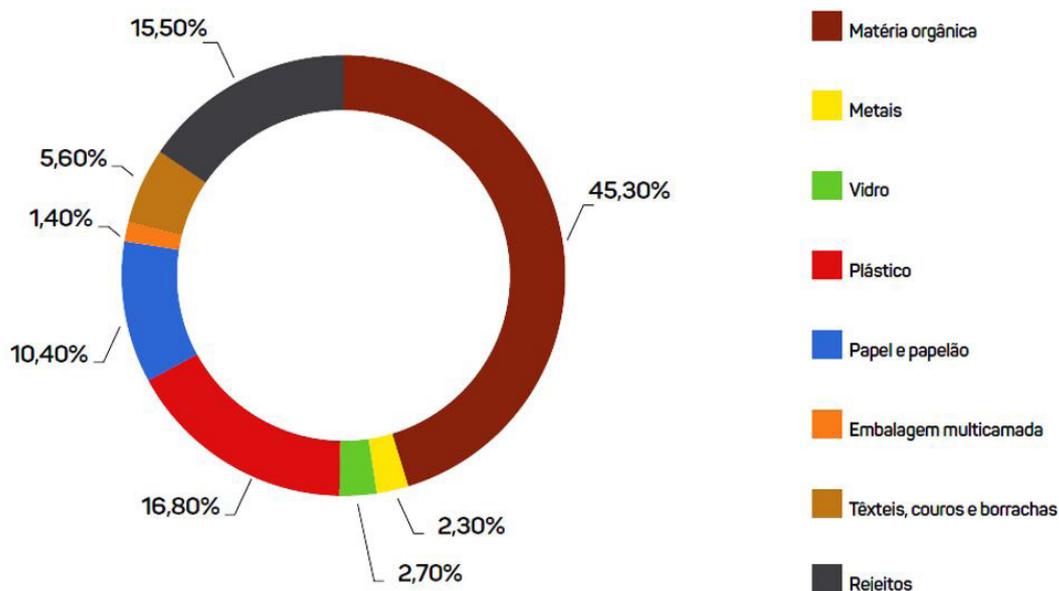
registrados em 2022, avalia-se que o brasileiro gerou em média 1,04 kg de RSU/dia. Aferindo este valor utilizando à totalidade da população brasileira oficialmente apontada pelo Censo Demográfico realizado em 2022, estima-se que foram geradas aproximadamente 77,1 milhões de toneladas de RSU no país, neste ano. O equivalente a 211 mil toneladas por dia, 380kg/habitante/ano (ABREMA, 2022, p. 18).

Apesar dos números altos, comparando-se a geração de resíduos do ano anterior, 2021, observou-se uma redução de 2% na produção de RSU por habitante (-7,6 kg).

Segundo a ABREMA, 93% dos resíduos sólidos urbanos gerados no país tenham sido devidamente coletados o equivalente a 196 mil toneladas/dia. No entanto, os 7% restantes correspondem a 5 milhões de toneladas que deixaram de ter uma destinação adequada e assim ofereceram risco à saúde pública e ao meio ambiente (ABREMA, 2022, p. 20).

Conforme os dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos consolidados em 2020 pela ABRELPE/ABREMA (Gráfico 1), a composição dos RSU a partir de uma análise gravimétrica dos resíduos coletados segue na seguinte ordem, conforme gráfico abaixo:

Gráfico 1 - Estimativa da composição gravométrica média dos RSU coletados



Fonte: ABRELPE/ABREMA, 2020.

De acordo com as informações fornecidas pela ABRELPE/ABREMA (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente), observa-se que a maior porcentagem de RSU produzidos (45,3%) foi formada de matérias orgânicas como de sobras e perdas de alimentos, detritos verdes e madeiras. Em seguida os resíduos recicláveis secos (plásticos, papel e papelão, vidros, metais e embalagens multicamadas) somam pouco mais de 33%. Outros 21% são resíduos formados por elementos têxteis, couros e borrachas. Os 15,5% restantes, considerados “rejeitos” são resultantes de resíduos sanitários (Brasil, 2022, p. 19).

O referido Plano recomenda que haja um comportamento consciente do consumidor com sua responsabilidade de consumo e descarte do seu resíduo gerado, de modo que

este possa entender o real impacto de tais ações na sociedade e no meio ambiente (Brasil, 2022).

A LOGÍSTICA REVERSA

Conforme define a Lei 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, pelo Governo Federal em 2010, a logística reversa é um:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada” (Brasil, 2010).

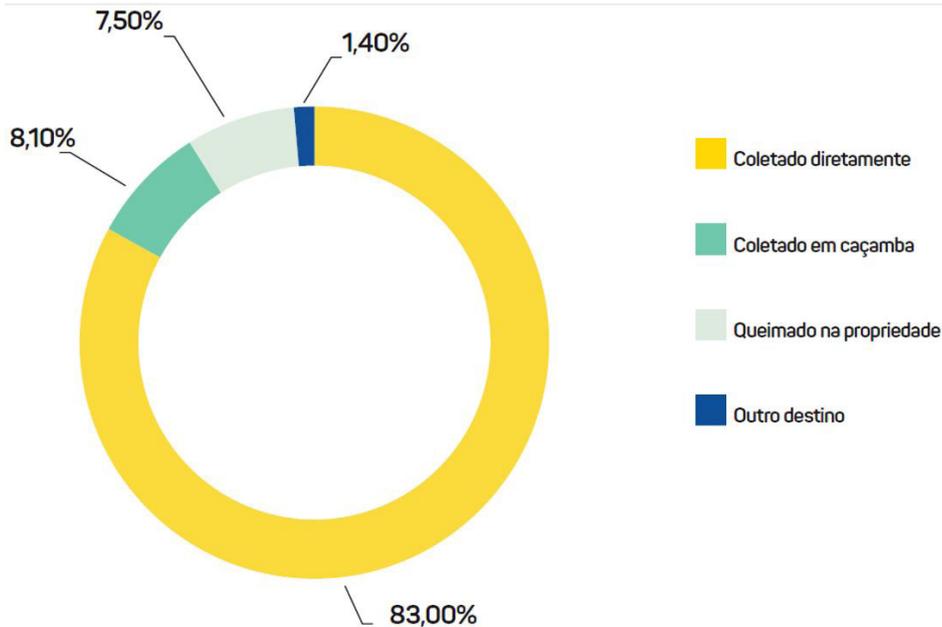
De acordo com a startup Polen (2022) objetivamente falando, a logística reversa caracteriza-se pela “coleta e encaminhamento à reciclagem (ou outra destinação ambientalmente adequada) de produtos e seus resíduos após o consumo e descarte do cliente final” (Polen, 2022, p. 3).

Ainda conforme o artigo 33 da Lei 12.305, a lei obriga as empresas fabricantes, importadoras, distribuidores e comerciantes a implementar sistemas de logística reversa mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, dos seguintes resíduos: Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; Pilhas e baterias; Pneus; Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; Produtos eletrônicos e seus componentes; Produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro (Brasil, 2010).

A COLETA CONVENCIONAL E SELETIVA NO BRASIL

Segundo o PNRS, no Brasil a coleta pode ser classificada em convencional ou indiferenciada e seletiva. No primeiro modo a fonte geradora dispõe os resíduos para a coleta sem separação prévia, o que gera perda na recuperação dos resíduos sólidos. Já a coleta seletiva pode ocorrer com a separação dos resíduos úmidos e secos ou conforme recomenda a legislação, de forma mais complexa, onde a separação compreende resíduos secos, orgânicos e rejeitos. Este cenário é mais difícil de ocorrer na maior parte de nosso país devido as realidades mais precárias e a consequente dificuldade do tratamento do lixo nas localidades (Brasil, 2022).

Dados coletados pelo Censo IBGE 2019 (ano-base 2018), conforme o Gráfico 2 abaixo, consideraram que os domicílios brasileiros contavam com práticas de coleta domiciliar divididas em atendimento direto, indireto e ausência do serviço. As informações apresentaram que 83% dos domicílios pesquisados são atendidos por coleta direta (quando há a retirada do resíduo em domicílio); em 8,1% a coleta foi indireta, na qual o lixo foi dispensado em caçamba ou pontos definidos de dispensa; e os demais próximos a 9% restantes não foram atendidos por serviços de coleta regular de resíduos sólidos (Brasil, 2022).

Gráfico 2 - Soluções e práticas de coleta de resíduos domiciliares, em 2018, no país.

Fonte: IBGE 2019.

Pesquisas realizadas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) entre 2010 a 2018 apresentam a taxa de cobertura do serviço de coleta convencional de resíduos domiciliares no Brasil e reforçam que os municípios de pequeno porte (até 30.000 habitantes) tiveram menores índices de cobertura, conforme descreve a Tabela 1 (Brasil, 2022).

Tabela 1 - Taxa de cobertura do serviço de coleta de RDO dos municípios pesquisados.

Faixa populacional	Quantidade de municípios da amostra	Taxa de cobertura de coleta de RDO em relação à população total (IN015) (%)
Até 30.000 habitantes	2.647	74,5
De 30.001 a 100.000 habitantes	534	86,6
De 101.000 a 250.000 habitantes	176	95,3
De 250.001 a 1.000.000 habitantes	94	98,1
De 1.000.001 a 4.000.000 habitantes	15	97,7
Acima de 4.000.001 habitantes	2	99,4
Total-2018	3.468	92,1

Fonte: SNIS 2019

No âmbito da coleta seletiva, conforme orienta a PNRS, a implantação deste sistema de coleta é de responsabilidade dos municípios, titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. Estes deverão estabelecer metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, com o intuito de diminuir a proporção de rejeitos encaminhados para a disposição final.

Segundo revelam os dados registrados nas pesquisas procedidas pelo SNIS (Tabela 2), a coleta seletiva no país ainda é um processo embrionário em grande parte dos municípios da federação. Outra constatação é de que percebido nos sistemas de entrega de resíduos recicláveis, tanto secos e orgânicos, ainda há um volume acentuado de resíduos misturados, que dificulta e reduz o aproveitamento dos materiais (Brasil, 2022).

Tabela 2 - Quantidade de municípios com iniciativas de coleta seletiva, 2010 a 2018.

Situação quanto à existência de coleta seletiva de "recicláveis secos"	Quantidade de municípios								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Sim	801	842	1.111	1.161	1.322	1.256	1.215	1.256	1.322
Não	1.250	1.258	1.932	2.411	2.443	2.264	2.455	2.300	2.146

Fonte: SNIS 2012-2019 (Brasil, 2022, p. 23).

O PROCESSO DE RECICLAGEM NO BRASIL

Segundo define o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, a reciclagem é “o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos”. Conforme a definição descrita na legislação, as frações de resíduos sólidos urbanos recolhidos pelos programas de coleta seletiva, quando beneficiadas, ou seja, quando sofrem alteração das suas propriedades físicas, indicam o início do processo de reciclagem, que somente é concluído com a transformação do material em insumo ou novo produto (Brasil, 2022, p. 29).

No país atualmente, os índices de reciclagem dos principais materiais são consideravelmente baixos (Tabela 3), mesmo notando-se diversas ações e mobilizações na sociedade por meio de iniciativas e estímulos para o melhor aproveitamento de tais materiais. Dentre as razões para esta condição, o PNRS cita a baixa adesão da população aos sistemas de coleta seletiva propostos; mercados locais de comercialização e reciclagem ineficientes, mal estruturados ou inexistentes; cadeia logística oscilante ou descontinuada; elevada tributação incidente sobre as diferentes etapas; concorrência desleal com alternativas de destinação final inadequadas (lixões e aterros controlados) (Brasil, 2022).

Tabela 3 - Índice de reciclagem de resíduos secos provenientes de embalagens.

Resíduos Recicláveis de Embalagens	Índice de Reciclagem	Ano-base	Referência
Latas de Aço	47,10%	2019	Abeaço
Latas de Alumínio	97,40%	2020	Abралatas/Abal
Papel/Papelão	66,90%	2019	Ibá
Embalagem multicamada	42,70%	2020	Cempre/TetraPak
Plástico	22,10%	2018	Abiplast
Vidro	25,80%	2018	Abividro

Fonte: SNIS 2012-2019 (Brasil, 2022, p. 23).

Neste contexto do processo de reciclagem não pode se dissociar a figura do catador. Conforme afirma o PNRS, as organizações de catadores atuam a partir dos materiais provenientes da coleta seletiva municipal, de roteiros próprios de coleta seletiva domiciliar, de grandes geradores e pontos de entrega voluntária (PEVs). Tais organizações possuem papel de fundamental importância no aspecto ambiental, por conta de sua função de triagem dos diversos materiais recicláveis a serem absorvidos pela indústria (Brasil, 2022).

TECNOLOGIA E A DINAMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE AUTOMAÇÃO NA COLETA SELETIVA

Industria 4.0 e Fundamentos da Automação Robótica

Segundo Schwab (2016) atualmente o mundo percebe a quarta revolução em andamento e esta, assim como as anteriores, é caracterizada pela introdução de novas tecnologias nas estruturas sociais as quais desencadeiam alterações profundas e impactos nos sistemas econômicos. O autor concorda que há uma grande transformação em curso na sociedade e economia global a qual se deve, claro, a intensificação do uso da tecnologia digital, fundamentada principalmente pelo uso dos computadores, softwares e redes (Schwab, 2016, p. 19)

O termo “Industria 4.0” surgiu em 2011, na Feira de Hannover, na Alemanha cujo conceito compreendia um conjunto de recomendações estratégicas do governo alemão, focadas em soluções tecnológicas as quais, anos depois foi aceita e desenvolvida. Paralelamente, os Estados Unidos neste mesmo ano, também promovia uma iniciativa chamada de *Smart Manufacturing* que preconizava a liderança norte-americana a frente de projetos tecnológicos na chamada indústria avançada. De modo geral a Industria 4.0 é “a união dos avanços tecnológicos mais recentes utilizados no desenvolvimento de máquinas que operam de maneira inteligente e praticamente autônoma”. As tecnologias envolvidas compreendem: Inteligência Artificial (AI); Big Data; Internet das Coisas (IoT); Computação em nuvem; Sistemas Ciberfísicos (CPS); Manufatura aditiva (impressão 3D); Robótica avançada; Realidade virtual e aumentada; Sensores inteligentes (CGEE, 2021, p. 11-13).

Segundo Carrara (2015), o termo “robota” utilizado pela primeira vez em 1920 pelo novelista tchecoslovaco Karel Capek. O sentido desta expressão significa “serviço compulsório”, atividade forçada” e originou a palavra “robot” (robô, em inglês). No decorrer da história, diversos filmes de ficção científica estimularam jovens a pesquisar e desenvolver robôs com a finalidade de executar tarefas humanas. O autor afirma que com o advento da computação décadas depois, especulou-se a capacidade real dos robôs de pensarem e agirem como os humanos.

Schwab (2016, p. 28) reforça este aspecto ao mencionar que:

Os avanços dos sensores capacitam os robôs a compreender e responder melhor ao seu ambiente e empenhar-se em tarefas variadas; por exemplo, as tarefas domésticas. Ao contrário do passado, quando eles precisavam ser programados por uma unidade autônoma, os robôs podem agora acessar informações remotas através da nuvem e assim se conectar a uma rede de outros robôs.

Conforme Carrara (2015, p. 7) as máquinas robóticas podem ser agrupadas em diversos níveis distintos segundo seus critérios particulares, tais como: quanto à sua aplicação, cadeia cinemática, tipo de atuadores, a autonomia, etc. O autor afirma ainda que os robôs podem ser caracterizados em “totalmente autônomos, programáveis, sequenciais e inteligentes” a depender do grau de interatividade destes com os determinados agentes externos onde estão inseridos (Carrara, 2015, p. 7).

Como este presente trabalho trata do uso da automação robotizada para a seleção de resíduos, é importante que sejam apresentados os critérios tecnológicos destes

equipamentos. De forma objetiva Silva (2004, p. 9) classifica os robôs em suas gerações de tecnologia de execução, níveis de inteligência do controlador, nível de controle dos programas no controlador, linguagem de programação. Dentro de cada nível de classificação situa-se uma especificidade de aplicação e operação. Quanto as suas gerações o autor descreve:

1ª-Robôs executores (playback) - repetem uma sequência de instruções pré-gravada como a pintura ou soldadura.

2ª-Robôs controlados por sensores - possuem malhas fechadas de realimentação sensorial. Tomam decisões com base nos sensores.

3ª-Robôs controlados por visão - a malha fechada de controle inclui um sistema de visão (imagem que é processada)

4ª-Robôs com controle adaptativo - o robô pode reprogramar as suas ações com base nos seus sensores.

5ª-Robôs com inteligência artificial - usa técnicas de inteligência artificial para tomar as suas decisões e até resolver problemas (Santos, 2004).

Quanto as suas especificidades relacionadas ao nível de inteligência do controlador, Santos, V. define os robôs da seguinte forma:

Dispositivos manuais - operados por pessoas, robôs de sequências fixas;

Robôs de sequências variáveis - onde o operador pode mudar a sequência com facilidade;

Robôs executores (playback) - onde o operador humano guia o robot a executar uma tarefa fixa;

Robôs controlados numericamente - o operador fornece apenas o programa do movimento, em vez de o ensinar manualmente;

Robôs inteligentes - percebem e interagem com alterações no ambiente (SANTOS, 2004).

Ao relacionar as especificações dos robôs quanto aos seus níveis de controle dos programas no controlador, Santos, V. explica que:

Inteligência artificial - instruções de alto nível que serão decompostas pelo sistema em funções de mais baixo nível;

Modo de controle - os movimentos do sistema são modelizados incluindo as interações dinâmicas entre os diferentes mecanismos. As trajetórias são planeadas à partida, bem como os pontos de contacto com os elementos a trabalhar (manipular). Deste modelo é formulada uma estratégia e os comandos de controle são enviados para próximo nível mais baixo.

Servo-sistema - os atuadores controlam os parâmetros do dispositivo usando os dados sensoriais nas malhas de controle (Santos, 2004).

O autor ainda observa sobre as características das linguagens de programação da seguinte forma:

Sistema guiados - O operador indica os movimentos que o robô deve fazer

Programação ao nível do robô - O utilizador escreve um programa a especificar as sequências de movimentos que o robô terá de executar.

Programação ao nível de tarefa - o programador especifica apenas as ações a tomar sobre os objetos que o robô manipulará (Santos, 2004).

Adequando-se ao projeto o qual é descrito e objeto deste trabalho, o processo robótico a ser utilizado como referência automatizada na máquina seletiva de resíduos, tem em seu conceito a abrangência de alguns atributos e características apresentadas até aqui. Dentre elas destaca-se o uso de câmeras como instrumento de captação e seleção dos resíduos a serem separados.

A Inteligência Artificial

Um dos maiores fatores de mudança dentro deste cenário de transformação tecnológica é o domínio da Inteligência Artificial (IA). Muitos estudiosos, pesquisadores e autores tem se debruçado sobre o tema a fim de estudar as vertentes da IA atualmente.

Gabriel Filho (2023) explica que ainda atualmente não há um consenso sobre o conceito de IA, mas dentre as definições existentes na literatura atual pode-se dizer que a Inteligência Artificial é:

Ciência multidisciplinar que tem o objetivo de prover as máquinas com a capacidade de executar tarefas que exigem a concorrência de alguma habilidade característica do ser humano, como: inteligência, criatividade, atenção, perseverança etc. No campo da Psicologia, a inteligência é caracterizada pela manifestação de uma ou mais das seguintes qualidades: aprendizagem, adaptação e capacidade de resolver problemas. [...] Tem o objetivo de prover as máquinas, as quais são possuidoras de precisão, rapidez de processamento e grande capacidade de armazenamento de dados (memória), com algumas habilidades próprias do ser humano (inteligência, criatividade, emoção, atenção, entre outras) com a finalidade de encontrar soluções para problemas que seriam difíceis ou até mesmo impossíveis de serem resolvidos pelos seres humanos (Gabriel Filho, 2023, p. 24).

Russel e Novib (2014) definem a Inteligência Artificial em quatro estratégias de estudo resumidos em “Pensar humanamente”, “Pensar racionalmente”, “Agir humanamente” e “Agir racionalmente” que são caracterizados por uma ordem de parâmetros sistemáticos e programados dentro da arquitetura lógica dos sistemas tecnológicos, estes encabeçados pelas máquinas, computadores e redes.

Ilustrando esse processo de transformação e adoção da IA na nossa rotina, a Oracle (2024) explica o conceito de *machine learning* (ML) e *deep learning* (aprendizagem profunda) como um dos diversos conceitos que exploram esta tecnologia. Segundo a Oracle (2024) explica em seu site, “o *machine learning* (ML) é o subconjunto da inteligência artificial (IA) que se concentra na construção de sistemas que aprendem, ou melhoram o desempenho, com base nos dados que consomem” (Oracle, 2024)

Os algoritmos do *machine learning* são responsáveis, por exemplo, nas interações com as mídias sociais, nas compras on-line ou nos serviços dos bancos, tornando a experiência do usuário mais eficiente, segura e suave. Segundo a Oracle (2024) existem dois tipos abordagens principais de algoritmos de *machine learning* usados atualmente: a de aprendizado supervisionado e aprendizado não-supervisionado. Na aprendizagem supervisionada “o algoritmo é treinado por um conjunto de dados que já está rotulado e tem uma saída predefinida”. Nesse modelo o cientista de dados ensina ao algoritmo quais as conclusões que ele deve ter (Oracle, 2024).

Já na abordagem de aprendizagem não supervisionada, o *machine learning* trabalha de forma independente de forma que o computador “aprende a identificar processos e

padrões complexos sem que um ser humano forneça uma orientação próxima e constante” (Oracle, 2024).

O conceito de *deep learning* se relaciona aos tipos de algoritmos que se modelam baseando-se no funcionamento do cérebro humano, desenvolvido por camadas de redes neurais. Segundo a Oracle (2024) “o treinamento com grandes quantidades de dados é o que configura os neurônios na rede neural”. Para IBM (2024), tais redes neurais simulam o comportamento do cérebro humano “permitindo que ele “aprenda” com grandes quantidades de dados”.

Neste cenário, as unidades de processamento gráficos, chamadas GPUs são otimizadas para modelos de treinamento capazes de processar inúmeros cálculos simultaneamente. As aplicações do aprendizado profundo abrangem diversas automações e tarefas analíticas, embutidas em processos como a navegação na internet ou no uso da telefonia celular. A geração de legendas no YouTube, reconhecimento de fala em telefone ou o reconhecimento facial para funções de acesso eletrônico, são exemplos do uso desta tecnologia da IA (Oracle, 2024).

Os cuidados necessários ao manuseio de detritos possivelmente infectados, por conta da covid-19, transformaram o uso de automatização no processo seletivo de resíduos quase que uma urgência sanitária. Foi este cenário que permitiu que a AMP Robotics se destacasse no desenvolvimento de robôs para a separação de resíduos desde o início da pandemia (Forbes, 2020).

MÁQUINA SELETORA DE RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS DE BAIXO CUSTO

Na história mundial, a Revolução Industrial foi o grande marco tecnológico que possibilitou à sociedade moderna alcançar um patamar sólido no desenvolvimento econômico. Conforme afirmam Roggia e Fuentes (2016, p. 16), desde a pré-história o homem esteve engajado em criar mecanismos que facilitassem de alguma forma sua rotina e dinamizassem suas atividades, a fim de reduzir o seu esforço físico. Foi nesta época, no auge do século XVIII que automação industrial se destacou (Roggia; Fuentes, 2016, p. 16).

Segundo Martelli (2012) a automação industrial possibilita “melhorias na cadeia produtiva, aumento da produtividade, a redução do erro humano, a redução dos acidentes de trabalho e melhorias na logística da produção, desde a estocagem até a distribuição do produto final.”

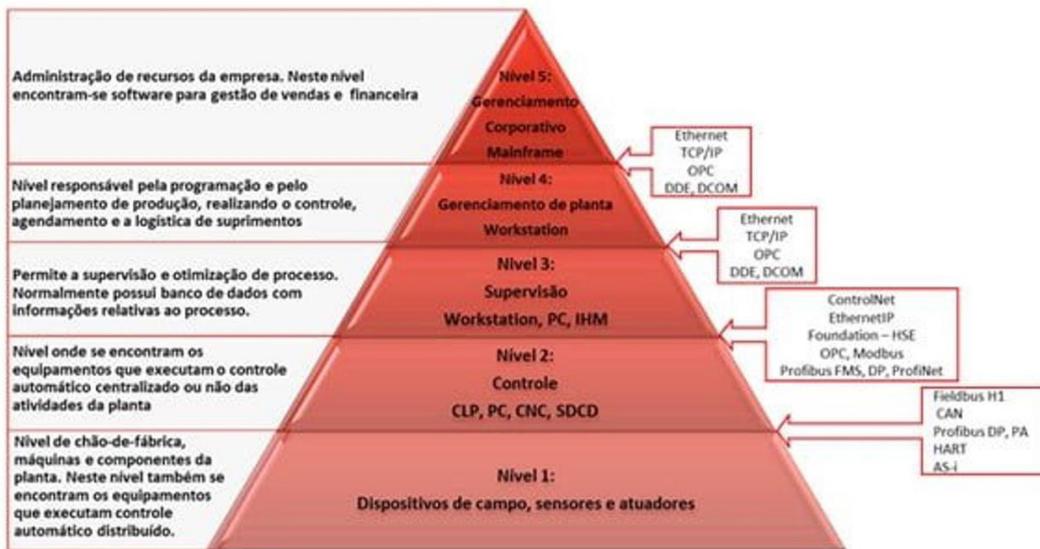
De acordo com Teixeira (2013, p. 25), a automação pode ser descrita como “um conjunto de técnicas de controle, das quais é criado um sistema ativo, capaz de fornecer a resposta adequada em função das informações que recebe do processo em que está a atuar.” O autor salienta que quando houve o processo de implementação dos processos automatizados na indústria, o objetivo era voltado a se alcançar maior produtividade e redução dos custos de produção. Com o passar do tempo, o foco da automação passou a ser a melhora da qualidade dos processos envolvidos, redução das perdas e conseqüentemente a estabilização ou diminuição dos custos, e a diversificação de itens produzidos por meio

de uma flexibilização e dinamização do processo.

É inevitável falar de um processo automação sem citar as tecnologias embutidas ou necessárias para se alcançar determinado resultado esperado. As arquiteturas de sistemas devem ser bem elaboradas dentro de um parâmetro lógico e objetivo.

Santos, G (2021) explica que a arquitetura da sistemática de automação industrial envolve diversos níveis de controle e trabalho os quais são mais bem descritos pela “pirâmide de automação industrial” (Figura 1).

Figura 1 - Pirâmide de automação industrial.



Fonte: Santos, Guilherme (2021).

Como apresentado no resumo deste artigo, o propósito deste trabalho é construir uma máquina seletora de resíduos sólidos recicláveis de baixo custo.

Funcionamento e Conceito da Máquina Seletora de Resíduos Sólidos de Baixo Custo

O conceito fundamental da máquina seletora de resíduos sólidos de baixo custo acompanha a tendência tecnológica atual e mais avançada que caracterizada pelo uso da IA e automação robótica. O embarque destas tecnologias ao equipamento propicia a consonância com a tendência mundial de inovação.

Com base no estudo para a concepção da máquina, foram realizadas diversas pesquisas e estudos sobre o uso da IA e automação robótica no sistema de reciclagem de lixo, na atualidade usando como base de inspiração os modelos desenvolvidos pela empresa global finlandesa ZenRobotics e pela norte-americana AMP Robotics.

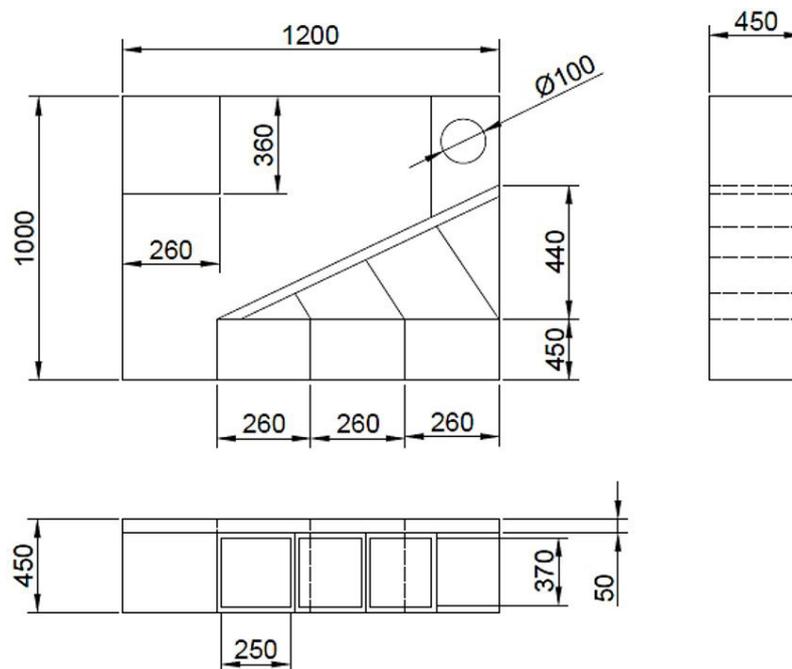
Segundo o site EducaAI (2024), a ZenRobotics desenvolveu, dentre os vários modelos de robôs já criados, o “Heavy Picker”. Este robô pode manusear objetos de até 40kg, fazendo até 2.300 coletas por hora. Os sistemas de funcionamento do robô são baseados em visão computacional (uso de câmeras e sensores que capturam imagens dos objetos para a seleção), Inteligência Artificial (uso de algoritmos de aprendizado de máquina para identificar e classificar os objetos dentro de uma gama de mais de 500

objetos), robótica (uso de braços robóticos para a separação e coleta dos objetos, sistema controle de movimento) (EducaAI, 2024).

O projeto, base deste trabalho, apresenta a idealização de máquina (figura 2) constituída de:

- Abertura de entrada;
- Esteira;
- Câmeras (capacitiva, indutiva, óptica, coloração);
- Portas-trava;
- Depósitos seletivos/ “comportas”;

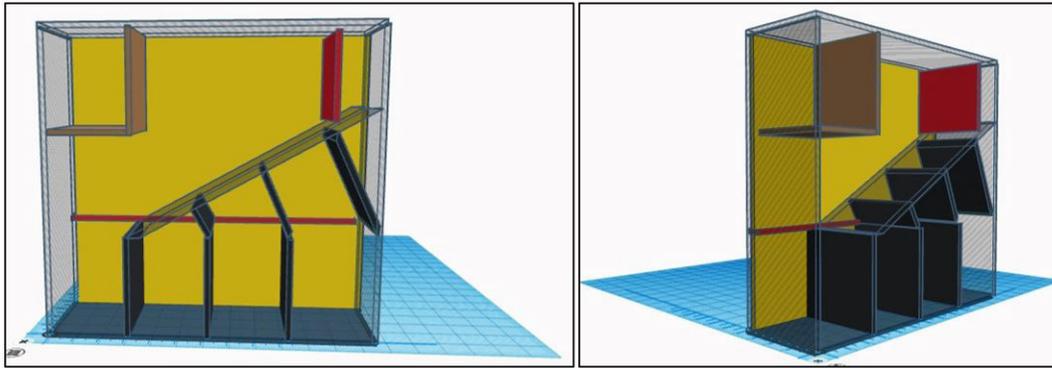
Figura 2 – Protótipo da máquina seletora de resíduos sólidos automatizada.



Fonte: Os autores (2024).

Os resíduos sólidos recicláveis serão introduzidos para a máquina pela porta de entrada. Estes resíduos serão transportados pela esteira até determinadas entradas, quatro especificamente. As entradas possuem um “pino/porta trava” para cada tipo de resíduos reciclável (vidro, metal, plástico, papel/papelão) as quais possuem embutidas sensores de reconhecimento (capacitivo, indutivo, óptico, coloração). Os resíduos, então, por meio da gravidade, deslizarão até as portas. Os sensores embutidos por sua vez, farão o reconhecimento do tipo de material e imediatamente a porta do material identificado se abrirá, separando o material em seu depósito/comporta seletiva específica (Figura 3 e 4).

Figuras 3 e 4 - Croqui da máquina seletiva de recicláveis de baixo.



Fonte: Os Autores (2024).

O processo de separação ocorre por meio de uma combinação de lógica identificada pelos sensores, conforme apresenta a tabela abaixo:

Tabela 4 – Combinação lógica do sistema de identificação dos sensores

	Sensor Capacitivo	Sensor Indutivo	Sensor Óptico	Sensor de Cor		Servo 1	Servo 2	Servo 3	Servo 4
Metal	1	1	1	0	=	0	0	1	0
Papel	1	0	1	1	=	0	1	0	0
Plástico	1	0	1	0	=	1	0	0	0
Vidro	1	0	0	0	=	0	0	0	1

Fonte: Os Autores (2024).

A partir de câmeras codificadas posicionadas nas entradas de introdução dos resíduos, será realizada a identificação dos detritos. As câmeras, a partir de uma programação computacional baseada nas premissas do *machine learning*, farão o reconhecimento dos detritos a partir das especificidades de cores, texturas, formas, peso e demais atributos. Após a leitura dos resíduos sólidos e sua imediata identificação, as portas-trava se abrirão na determinada localização específica do referido resíduo, sendo ele ou plástico, ou metal, ou papel/papelão, ou vidro, depositando este resíduo em uma comporta/depósito seletivo.

Figuras 5 e 6 – Projeto físico da máquina seletiva de recicláveis de baixo.



Fonte: Os Autores (2024).

O uso de materiais de baixo custo (madeira, recipientes plásticos, rodízios, parafusos) tornam o equipamento sustentável e acessível. Os componentes automatizados

como as câmeras, por exemplo também podem ser encontrados em modelos de baixo custo, uma vez que a demanda de mercado oferece uma gama de variedades eficientes e econômicas. Tais aquisições podem ser obtidas a partir de campanhas ou doações. A exigência de programação das automações de reconhecimento, exigirão o conhecimento de um cientista de dados que fará a codificação dos algoritmos em sistema necessários para o reconhecimento dos atributos e características dos resíduos para a sua posterior seleção e separação.

Possibilidades futuras, a partir de atualizações tecnológicas e otimização à demandas de separação específica, exigirão a recomposição das funções da máquina como a adoção de braços e pinças para a separação de resíduos que exigirão certos cuidados. Tais modificações deverão ser analisadas minuciosamente a fim de verificar a viabilidade econômica do projeto, para não o encarecer.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A premência que se exige da sociedade com os cuidados com a natureza nos últimos tempos e o planejamento de alternativas de sustentabilidade e diminuição da poluição, requerem medidas capazes de minimizar os impactos nocivos ao meio ambiente no planeta.

A concepção de uma máquina seletiva de resíduos sólidos de baixo custo, torna-se uma alternativa viável para a potencialização dos processos de separação do lixo e posterior encaminhamento para a reciclagem, auxiliando na preservação ambiental.

Por meio de seus atributos automatizados baseados na IA a máquina seletiva aqui projetada torna-se um recurso de otimização dentro dos pontos de coleta de lixo, agilizando a identificação e separação de resíduos a partir de uma metodologia robotizada.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Inês El-Jaick; GALLO, Éric Alves. Um pouco da história do lixo. **Ciência Hoje das Crianças**, Rio de Janeiro, n. 291, abr. 2019. Disponível em: <https://chc.org.br/artigo/um-pouco-da-historia-do-lixo/>. Acesso em: 13 abr. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10502**: Informação e documentação: Citações em documentos: Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14724**: Informação e documentação: Trabalhos Acadêmicos: Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023**. ABREMA: São Paulo, 2023. 54 p.

BRASIL. MMA/SINIR. Manual do usuário: SINIR+ Logística Reversa. Brasília, DF: MMA, 2022. 22 p. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Manual-do-Usuario-SINIR-LR-v.1.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2024.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 11.043**. Dispõe sobre a aprovação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, 2022. abr. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/Anexo/and11043.pdf. Acesso em: 14 abr. 2024.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 12.305**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. 10 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 abr. 2024.

CAI, Kenrick. Como a AMP Robotics está mudando a indústria da reciclagem com robôs. **Forbes**, 16 nov. 2020. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2020/11/como-a-amp-robotics-esta-mudando-a-industria-da-reciclagem-com-robos/>. Acesso em: 25 mai. 2024. Leia mais em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2020/11/como-a-amp-robotics-esta-mudando-a-industria-da-reciclagem-com-robos/>

CARRARA, Valdemir. **Introdução à robótica industrial**. São José dos Campos: INPE, 2015. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/08.25.14.16/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2024.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Indústria 4.0**: arcabouço normativo para a implementação da indústria 4.0 no Brasil. Brasília, DF: CGEE, 2021. 214 p. (Documentos Técnicos, 29). Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivo-camara-industria/iniciativas/ci_nt_arcabouco-normativo.pdf. Acesso em: 05 mai. 2024.

EIGENHEER, Emílio Maciel. **A história do lixo**: a limpeza urbana através dos tempos. Campus Elsevier: Rio de Janeiro, 2009. 141 p.

GABRIEL FILHO, Oscar. **Inteligência Artificial e aprendizagem de máquina**: aspectos teóricos e aplicações. São Paulo: Blucher, 2023. 462 p. Disponível em: https://storage.blucher.com.br/book/pdf_preview/PDF_ia.pdf. Acesso em: 05 mai. 2024.

HEAVY Picker: o robô de IA que coleta e separa lixo. **EducaAI**, mar. 2024. Disponível em: <https://eduka.ai/heavy-picker-o-robo-de-ia-que-coleta-e-separa-lixo/>. Acesso em: 18 mai. 2024.

IBM. **O que é deep learning?** 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/deep-learning>. Acesso em: 25 mai. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Normas de apresentação tabular**. Centro de Documentação e Disseminação de Informações. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 62. p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv23907.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2024.

MARTELLI, Rafael. **Automação Industrial**. Santa Catarina: UNIASSELVI, 2012.

ORACLE. **O que é deep learning?** 2024. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/artificial-intelligence/machine-learning/what-is-deep-learning/>. Acesso em: 25 mai. 2024.

POLLEN. **11 Perguntas e Respostas para entender a logística reversa**. Rio de Janeiro: Pollen, 2022. 20 p. Disponível em: <https://www.creditodelogisticareversa.com.br/post/t-quais-empresas-precisam-fazer-a-logistica-reversa-dos-residuos-solidos>. Acesso em: 19 abr. 2024.

PORTAL Sustentabilidade. **A história da reciclagem no Brasil e no Mundo**. Abr. 2022. Disponível em: <https://portalsustentabilidade.com/2022/05/19/a-historia-da-reciclagem-no-brasil-e-no-mundo/#>. Acesso em: 14 abr. 2024.

ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo Cardozo. **Automação Industrial**. Santa Maria, SC: UFSC, 2016. 102 p.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial Intelligence**: a modern approach. 3rd edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2014. 1151 p.

SANTOS, Guilherme. A pirâmide da automação industrial. **Automação Industrial**, São Paulo, Jun. 2021. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial/>. Acesso em: 21 abr. 2024.

SANTOS, Vítor M. F. **Robótica Industrial**: apontamentos teóricos, exercícios para aulas práticas, problemas de exames resolvidos. Aveiro, Portugal: universidade de Aveiro, 2004.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

TEIXEIRA, Marco Miguel Marques. **Automatização e Integração de uma Linha de Produção Industrial**. 2013. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

TEREX CORPORATION. **Zenrobotics**. Finlândia, 2024. Disponível em: <https://www.terex.com/zenrobotics/>. Acesso em: 18 mai. 2024.

Análise dos processos de produção e entrega de marmitas com auxílio de ferramentas de simulação computacional

Gessica Maria Marques da Silva

(FATEC JAHU)

Nádia Beatriz Olívio

(FATEC JAHU)

Evandro Antônio Bertoluci

Orientador (FATEC JAHU)

RESUMO

Este estudo visa obter uma compreensão mais profunda do impacto direto dos processos internos e na satisfação do cliente em uma marmitaria. No contexto específico das marmitas, o “delivery” de refeições surge como uma opção atrativa para os consumidores que buscam aliar o sabor caseiro à comodidade de retirar, ou receber as refeições no conforto de sua casa. Para o desenvolvimento deste artigo, foi realizado um estudo de caso em uma marmitaria delivery localizada em uma cidade do interior do estado de São Paulo com um pouco mais de 24.500 habitantes segundo IBGE (Instituto brasileiro de geografia e estatística). Dentro desse cenário as análises e resultados de simulações no software Arena possibilitaram investigar os gargalos nos processos desde a chegada do pedido até a entrega ao cliente final, com o intuito de identificar pontos a serem melhorados. O estudo realizado com Software Arena dentro de um período foi possível identificar gargalos apresentados na empresa, sendo possível apontar a necessidade de uma contratação de mais um motoqueiro para evitar atrasos. Visando melhoria no transporte das marmitas também foi observada a necessidade de mudança no tipo de bolsa térmica; essas bolsas com divisórias específicas são importantes para melhor, manusear e transportar sem danificar as marmitas durante o trajeto da empresa até o consumidor, ainda visando segurança, higiene e praticidade um lacre de segurança em fita adesiva foi adquirido e implantado no processo de fechamento das marmitas.

Palavras-chave: marmitaria; delivery; processos; software arena.

ABSTRACT

This study aims to obtain a deeper understanding of the direct impact of



internal processes and customer satisfaction in a marmitaria. In the specific context of lunch boxes, the “delivery” of meals emerges as an attractive option for consumers who seek to combine the homemade flavor with the convenience of removing, or receiving meals in the comfort of their home. For the development of this article, a case study was carried out in a marmitaria delivery located in a city in the interior of the state of São Paulo with a little more than 24,500 inhabitants according to IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics). Within this scenario, the analyses and results of simulations in the Arena software made it possible to investigate the bottlenecks in the processes from the arrival of the order to the delivery to the final customer, in order to identify points to be improved. The study carried out with Software Arena within a period it was possible to identify bottlenecks presented in the company, being possible to point out the need to hire one more biker to avoid delays. In order to improve the transport of the lunch boxes, the need for a change in the type of thermal bag was also observed; these bags with specific partitions are important for better handling and transporting without damaging the lunch boxes during the journey from the company to the consumer, still aiming at safety, hygiene and practicality, a safety seal in adhesive tape was acquired and implemented in the process of closing the lunch boxes.

Keywords: marmitaria; delivery; processes; software arena.

INTRODUÇÃO

O serviço delivery tem experimentado uma transformação significativa, moldando-se às demandas contemporâneas por praticidade e conveniência. No contexto específico de marmitarias, a entrega de refeições ganhou destaque como uma opção atrativa para consumidores que buscam a combinação de sabores caseiros com a comodidade de receber a comida no conforto de suas casas.

Conforme destacado por Kotler e Keller (2012, p. 245), “o sucesso de um negócio na era da experiência do consumidor está intrinsecamente vinculado à capacidade de atender e superar as expectativas do cliente em todas as etapas da transação”. Em uma marmitaria *delivery*, a qualidade do serviço não se limita apenas ao sabor dos pratos, mas também se estende à eficiência dos processos.

Nesse sentido, a Simulação orienta de forma eficaz no conceito de tais melhorias, pois busca a realidade e satisfação para um ambiente controlado, onde se pode estudar o seu comportamento, sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos.

Para Freitas Filho (2008) a simulação computacional de processos é uma alternativa viável para o crescimento do setor diante desse cenário.

Ainda segundo Freitas Filho (2008), a simulação computacional está sendo cada vez mais utilizada, e isso ocorre devido a facilidade de uso, além do aumento da capacidade de processamento dos computadores com interfaces gráficas mais amigáveis e adaptáveis a diferentes plataformas.

Com intuito de aprofundar a compreensão sobre como os processos impactam diretamente a satisfação do cliente e, conseqüentemente, a longevidade e competitividade

desses estabelecimentos no mercado foram necessárias efetuar essa pesquisa.

Ao explorar os processos na marmitaria delivery, esperamos contribuir para o desenvolvimento de práticas mais eficazes para empresa, visando identificar e explorar pontos a serem melhorados em sua demanda crescente no setor.

Objetivo Geral

O objetivo deste artigo é analisar os processos realizados em uma marmitaria localizada em Dois Córregos-SP a partir das análises de resultados de simulações computacionais com a finalidade de melhorar eventuais gargalos que possam ter sido identificados afim de reduzir o tempo entre a chegada do pedido até a entrega ao cliente.

Objetivos Específicos

- Criar um modelo de simulação com o software arena para o cenário atual;
- Investigar os gargalos;
- Discutir cenários estudados;
- Melhorias no transporte de marmitas;
- Lacres para as embalagens.

Metodologia

Para dar início a essa pesquisa foi feita uma análise minuciosa dos processos atuais da marmitaria, detalhando cada etapa desde o recebimento do pedido até a entrega final ao cliente. Por meio de observação direta, entrevista com funcionários e análise de dados históricos, pontos de ineficiência e principais problemas poderão ser identificados.

Um modelo de simulação será criado no software Arena para permitir a visualização e análise do fluxo de trabalho da marmitaria com base nos dados coletados. As variações na demanda, na capacidade de produção e na alocação de recursos serão levadas em consideração para simular vários cenários.

REFERENCIAL TEÓRICO

Marmitaria Delivery

Uma marmitaria é um estabelecimento que oferece refeições prontas para consumo, geralmente embaladas em marmitas individuais. Esse modelo de negócio tem se popularizado devido à crescente demanda por alimentação rápida e conveniente. Podemos abordar diferentes aspectos relacionados à gestão de uma marmitaria, incluindo aspectos econômicos, sociais, culturais e nutricionais.

Segundo autores como Kotler (2019), a dinâmica do mercado de alimentação tem passado por significativas transformações. Consumidores buscam cada vez mais praticidade e opções saudáveis, o que favorece o surgimento e crescimento de negócios

como as marmitarias.

De acordo com estudos de Santos *et al.* (2020), o comportamento do consumidor é influenciado por fatores como praticidade, qualidade e preço. Marmitarias que conseguem alinhar esses elementos têm maior probabilidade de sucesso no mercado.

Autores como Thompson (2018) ressaltam a importância crescente da preocupação com a saúde e nutrição. Marmitarias podem se destacar ao oferecer opções balanceadas e nutritivas, atendendo às demandas de consumidores conscientes sobre seus hábitos alimentares.

Conforme destacado por Smith e Johnson (2021), a incorporação de tecnologias inovadoras, como plataformas de *delivery* e sistemas de pedidos online, pode impulsionar a eficiência operacional de marmitarias, melhorando a experiência do cliente.

Autores como Oliveira *et al.* (2019) apontam desafios comuns enfrentados por empreendimentos de alimentação, como a gestão de custos e a competição acirrada. Ao mesmo tempo, a crescente demanda por alimentação fora do lar cria oportunidades para o crescimento do setor.

Software Arena

O Software Arena é um ambiente gráfico integrado de simulação que contém todos os recursos para modelagem de processos. Ele é muito utilizado para análises de filas, linhas de produção e processos indústrias. Segundo Silva (2007) o software Arena é muito utilizado para simular uma variedade de ambientes, assim como outros programas é utilizado para visualizar um conjunto de procedimentos que são utilizados em manufatura, serviços entre outros.

Para Prado (1999) o programa Arena é formado por conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para explicar uma aplicação real com comandos de linguagem de programação, as entidades que representa as pessoas, objetos, etc., são as principais partes da modelagem do Arena, onde se movem ao longo do sistema, demonstrando onde será realizado algum serviço ou transformação, representando os caminhos que as entidades devem percorrer durante o trajeto simulado.

DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA

Estudo de Caso

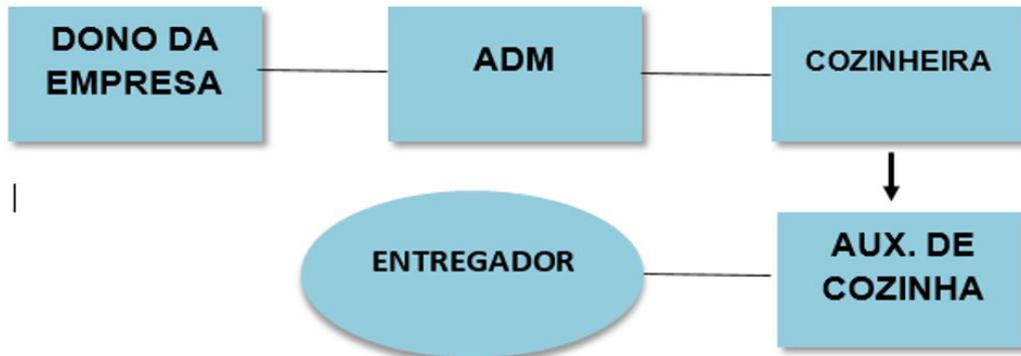
Foi realizado um estudo de caso em uma marmitaria delivery em uma pequena cidade do interior do estado de São Paulo, para uma análise dos processos utilizados no estabelecimento.

Considerado um empreendimento de pequeno porte que conta com 5 funcionários, dentre eles: o dono da empresa, administrativo, uma cozinheira, uma auxiliar e um motoqueiro.

Cenário Atual

Apartir do levantamento e coleta de dados in loco, foi possível montar o organograma da empresa, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 - Organograma da Empresa.



Fonte: elaborada pelo autor, 2024.

O funcionamento da marmitaria *delivery* funciona de segunda a domingo das 10:30h às 13:00h da tarde, não é cobrada taxa de entrega e o motoqueiro sai para a entrega com sua própria caixa térmica, sendo modelo destinado para transporte de outros tipos de alimentos, não contendo divisórias o que pode favorecer o deslocamento e abertura das embalagens durante o transporte. Á baixo segue a foto do modelo atualmente utilizado.

Figura 2 - Caixa térmica.



Fonte: Google imagens, 2023.

O processo da marmitaria pode ser descrita da seguinte maneira:

A compra de insumos que é realizada pelo dono da empresa semanalmente, indo até o ponto de venda variado e não conta com fornecedores fixos. O deslocamento para a compra de insumos é feito com seu veículo próprio em outra cidade.

A estocagem dos insumos é realizada pelo dono da marmitaria assim que retorna para empresa.

O processo da estocagem é realizado da seguinte forma:

Os frios são guardados no freezer, os alimentos na dispensa.

O atendimento dos pedidos é feito pelo administrador que é responsável por receber

e repassar os pedidos para produção, iniciando diariamente às 09h00min da manhã, assim que é divulgado o cardápio nas redes sociais. Em um papel é anotado o nome do cliente, o tamanho da marmita que ele escolheu que pode ser pequena, média ou grande, o endereço e o valor do pedido, a forma de pagamento e se há necessidade de troco para o cliente.

Assim que é finalizado cada pedido o papel com as informações necessárias para produção que se inicia 10h30minh.

Para obter a média diária de pedidos afim de fazer simulação no sistema arena foram coletados os números de recebimentos de pedidos, subdivididos em horas chegando ao número médio de um pedido a cada 10 minutos, conforme demonstrado na tabela abaixo:

Tabela 1 - Números de recebimentos de pedidos.

Chegada de pedidos por horário	número de pedidos recebido
09:00 às 10:00	7
10:01 às 11:00	13
11:01 às 12:00	12
12:01 às 12:50	8
Média de chegada dos pedidos	10

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os processos de produção das marmitas são:

1) A cozinheira coloca o alimento selecionado pelo cliente na embalagem de isopor realizando a montagem de acordo com o tamanho da marmita escolhida, esse processo demora em média dois minutos para ser realizado;

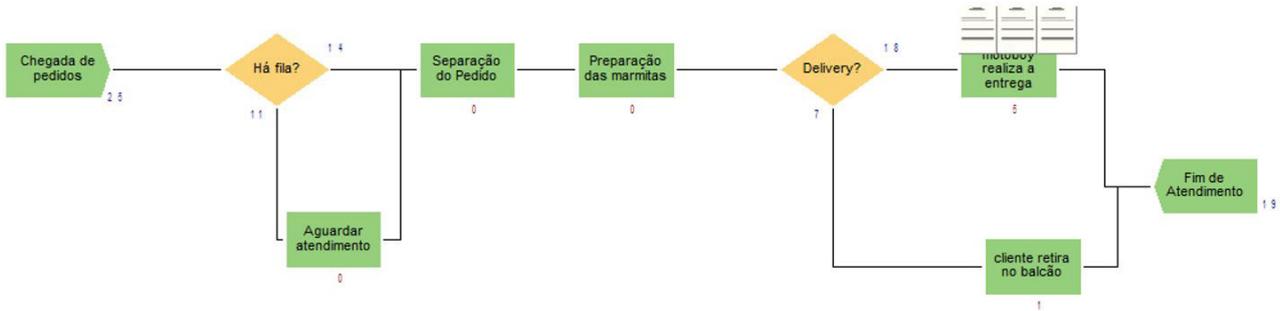
2) Para segunda etapa do processo o auxiliar de cozinha fica responsável em fechar a embalagem da marmita montada e acondicionar a salada em um recipiente plástico diferente da embalagem da marmita e em seguida é ensacada junto com talher de plástico e guardanapo nesse processo são gastos em média dois minutos.

3) Finalizado o processo anterior, é grampeado o papel com os dados do pedido do cliente e demora em média um minuto para finalização desse processo.

4) Após a finalização de todos os processos é repassado para o motoqueiro, já colocando os pedidos em sua bolsa de térmica para o transporte das marmitas, prontas para serem entregues ao consumidor final com entregas periódicas de 30 minutos a cada saída, começando às 10h50minh. (Dez horas e cinquenta minutos) somente dentro do perímetro da cidade local.

5) Coletados esses dados foi possível iniciar uma simulação no software arena ao final da simulação foi observado alguns gargalos na entrega das marmitas, conforme demonstra a figura 3.

Figura 3 - Gargalos na entrega das marmitas.



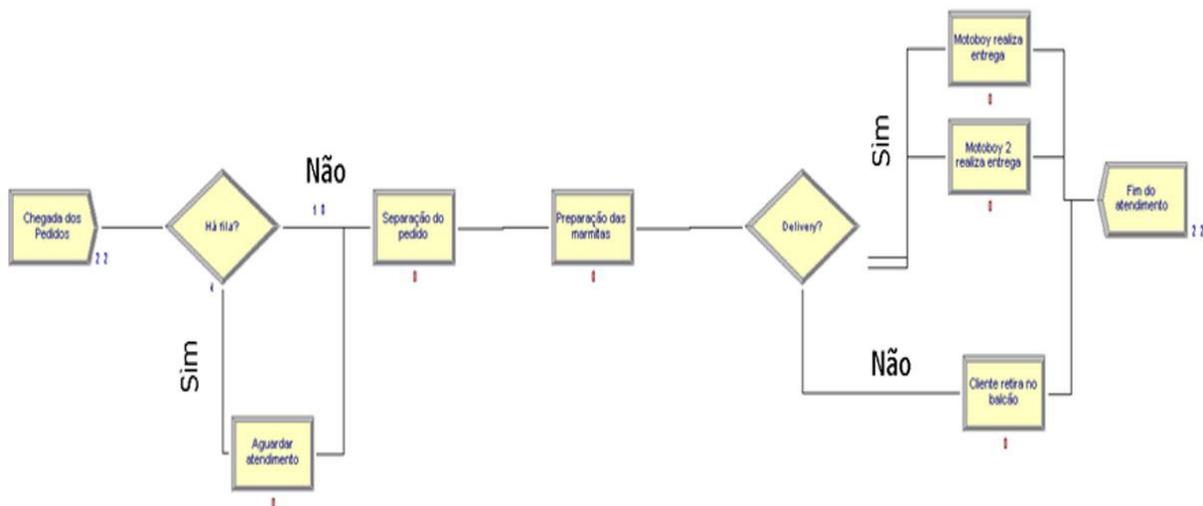
Fonte: Cenário Atual (autor)

Todos os dados foram coletados em minutos e a duração foi baseada em 3 horas e trinta minutos, de acordo com o início das montagens e saídas para entrega das marmitas, horário que se inicia às 10h30min e finaliza às 13:00h.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a observação de todo o processo que apresenta o gargalo na operação e pontuado, os processos que poderiam ser melhorados no Software arena, foram apresentados na figura 4, o desenho da melhoria proposta.

Figura 4 - Cenário proposto para melhorias no Software arena.



Fonte: autor

Analisando as simulações apresentadas nas Figuras 4 e 5, foi possível concluir:

a) Na primeira simulação, figura 3, chegaram 25 pedidos e saíram 19 pedidos de marmitas, com um gargalo na entrega pelo motoboy.

b) Após a contratação de mais um motoboy, figura 4, efetuou-se a simulação com os mesmos tempos de produção e entrega e percebeu-se a eliminação de gargalos no processo de entrega de marmitas. Nesse cenário, chegaram 22 pedidos e saíram 22 pedidos.

c) Existirá um custo na contratação de mais um motoboy; entretanto, o maior

número de marmitas entregues justifica esse custo adicional.

De acordo com os dados coletados foi possível identificar algumas contrariedades na empresa, podendo ser ajustadas para maior eficiência dos processos. A empresa do setor alimentício aqui estudado demonstra forte potencial de crescimento uma vez que satisfaz com eficiência e qualidade seus clientes, atendendo uma forte tendência de alimentação prática e saudável. A pontualidade nas entregas alinhada com a conservação da temperatura do alimento é um reflexo de uma logística eficiente aplicada no processo desde o recebimento do pedido até a entrega ao consumidor final.

Implantação de uma mochila com suportes individuais: Contudo foi identificado um ponto a melhorar no transporte do alimento aumentando a qualidade do serviço, uma vez sugerido à troca da bolsa térmica atualmente utilizada, assim evita-se danificar as embalagens no transporte, E na utilização de uma mochila com suportes individuais empilháveis podendo transportar até dezesseis unidades por viagem, pode facilitar no transporte, segue o modelo abaixo:

Figura 5 - Caixa térmica.



Fonte: Google imagens, 2023.

Lacres de segurança: Ainda pensando no melhor atendimento foi sugerido que a marmitaria adote a utilização de um lacre de segurança em fita adesiva para maior segurança do seu consumidor, que só irá aceitar seu pedido se a mesma não tiver violado ou rompido, como exemplo abaixo:

Figura 6 - Lacre de segurança em fita adesiva.



Fonte: Google imagens, 2023.

Para que agregue valor ao produto esse mesmo lacre pode ser personalizado com o logotipo da marmitaria reforçando sua identidade visual e marketing no ato da entrega ao seu cliente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A perspectiva desse estudo foi abordar a simulação do arena, para o auxílio de análises dos processos de uma marmitaria delivery, importante para as empresas, pois permite apontar possíveis razões para gargalos nos processos.

Foi possível observar que a entrega não operava, e não satisfatória, pois apresentava gargalos.

Por meio de resultados obtidos, foi possível aplicar medidas corretivas em relação as entregas, e a contratação para otimizar o tempo de processo. Adequar a empresa ao uso de mochila própria e lacres de segurança para evitar acidentes, no caso de abrir a embalagem de isopor.

As melhorias implementadas contribuíram para um desempenho mais eficiente, na satisfação dos clientes.

Sugere-se novos estudos, com novas simulações, para a análise dos custos dos processos produtivos e de entregas das marmitas com um e/ou mais motoboys.

REFERÊNCIAS

FREITAS Filho, P. J. Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena. Visual Books. 2008.

FUNDAÇÃO Biblioteca Nacional (Brasil). BNDIGITAL I: Coleção Casa dos Contos. Rio de Janeiro, 23 fev. 2015. Facebook: bibliotecanacional.br. Disponível em: <https://www.facebook.com/bibliotecanacional.br/photos/a.241986499162080.73699.217561081604622/1023276264366429/?type=1&theater>. Acesso em: 26 Fev. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em :21 Jun.2024.

KOTLER, P., KELLER, K. L. Administração de Marketing (14^a ed.). São Paulo: Pearson. 2012.

KOTLER, P., KARTAJAYA, H., SETIAWAN, I. Marketing 4.0: mudança do tradicional para o digital. Trad. Pedro Elói Duarte. Coimbra, Portugal: Conjuntura Atual Editora. 2019.

OLIVEIRA, José P. M. **Repositório digital da UFRGS é destaque em ranking internacional**. Maceió, 19 ago. 2011. Twitter: @biblioufal. Disponível em: <http://twitter.com/#!/biblioufal>. Acesso em: 20 Ago. 2011.

OLIVEIRA, R., Santos, M., Pereira, J. Cost Management in Food Service Businesses. Journal of Foodservice Business Research. 2019.

PRADO, D. Usando o Arena em Simulação. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SANTOS, M., *et al.* Estudo sobre o comportamento do consumidor em serviços de alimentação. *Revista de Gestão e Negócios*, 25(3), 122-137. 2020. *Science*, 7(2), 56-70.

SILVA, Liane Márcia Freitas; PINTO, Marcel de Gois; SUBRAMANIAN, Anand. Utilizando o software Arena como Ferramenta de Apoio ao Ensino em Engenharia de Produção. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção: 09 a 11 out. 2007.

SMITH, A., JOHNSON, T. The Impact of Technology on Food Delivery Services. *International Journal of Logistics Management*, 32(1), 23-38. 2021.

THOMPSON, J. Health and Nutrition in the Food Industry. *JournalofNutritional*. 2018.

Uniqueness and regularity of solutions to integral equations in irregular domains using Slobodetskii norms and fractional Sobolev spaces

Unicidade e regularidade de soluções de equações integrais em domínios irregulares utilizando normas Slobodetskii e espaços de Sobolev fracionários

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

Post-Doctorate in Theoretical and Computational Physics. PhD in Applied Mathematics. Department of Physics, Technological Institute of Aeronautics. Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acácias, 12228-900, São José dos Campos/SP, Brazil

ABSTRACT

This paper investigates the uniqueness and regularity of solutions to integral equations associated with elliptic boundary value problems in irregular domains. While traditional studies often assume smooth boundaries, this research extends these results to domains with irregular boundaries. By utilizing Sobolev spaces, particularly fractional Sobolev spaces, and the properties of the Slobodetskii norm, a robust theoretical framework is developed. The main theorem of this study demonstrates that, under suitable conditions, the integral equation under consideration has a unique solution that inherits regularity properties. In other words, even in domains with irregular boundaries, it is possible to guarantee the existence of unique solutions with certain smoothness properties. This is crucial for the application of mathematical methods to real-world problems. These results represent a significant advancement in the mathematical understanding of boundary value problems in non-smooth domains. This has important implications, as many practical problems in physics and engineering involve domains with complex and irregular boundaries where traditional techniques are not applicable. By extending the results to irregular domains, this work opens new possibilities for the application of mathematical methods in more realistic and complex situations. The mathematical tools developed, based on fractional Sobolev spaces and the Slobodetskii norm, offer an innovative



and effective approach to addressing these challenges. In summary, this study not only broadens the scope of problems that can be solved using integral equations but also provides a solid theoretical foundation for future research and applications in various scientific and technological fields. The findings presented here promise to significantly influence the development of new techniques and solutions in multiple areas of knowledge.

Keywords: irregular domain; integral equations; Sobolev Spaces; uniqueness and regularity.

RESUMO

Este trabalho investiga a unicidade e regularidade das soluções para equações integrais associadas a problemas elípticos de valor de contorno em domínios irregulares. Enquanto os estudos tradicionais frequentemente assumem fronteiras suaves, esta pesquisa expande esses resultados para domínios com fronteiras irregulares. Utilizando espaços de Sobolev, particularmente os espaços de Sobolev fracionários, e as propriedades da norma Slobodetskii, é desenvolvida uma estrutura teórica robusta. O principal teorema deste estudo demonstra que, sob condições adequadas, a equação integral analisada apresenta uma solução única, que herda as propriedades de regularidade. Em outras palavras, mesmo em domínios com fronteiras irregulares, é possível garantir a existência de soluções únicas e com certas propriedades de suavidade. Isso é crucial para a aplicação de métodos matemáticos em problemas reais. Esses resultados representam um avanço significativo na compreensão matemática de problemas de valor de contorno em domínios não suaves. Isso tem implicações importantes, pois muitos problemas práticos em física e engenharia envolvem domínios com fronteiras complexas e irregulares, onde as técnicas tradicionais não são aplicáveis. Ao estender os resultados para domínios irregulares, este trabalho abre novas possibilidades para a aplicação de métodos matemáticos em situações mais realistas e complexas. As ferramentas matemáticas desenvolvidas, baseadas nos espaços de Sobolev fracionários e na norma Slobodetskii, oferecem uma abordagem inovadora e eficaz para lidar com esses desafios. Em resumo, este estudo não apenas amplia o escopo dos problemas que podem ser resolvidos utilizando equações integrais, mas também proporciona uma base teórica sólida para futuras pesquisas e aplicações em diversos campos científicos e tecnológicos. As descobertas aqui apresentadas prometem influenciar significativamente o desenvolvimento de novas técnicas e soluções em várias áreas do conhecimento.

Palavras-chave: domínio irregular; equações integrais; espaços de Sobolev; unicidade e regularidade.

LIST OF SYMBOLS AND NOTATIONS

In the expansive realm of communication, symbols and notations serve as powerful tools, transcending linguistic boundaries and succinctly conveying complex concepts. This compilation aims to elucidate a wide array of notations and symbols, providing a gateway to deciphering embedded languages. Each section of the text meticulously explains various notations and their corresponding meanings, fostering a comprehensive understanding of technical intricacies.

INTRODUCTION

The research presented here is justified by both its theoretical and practical contributions. Theoretically, it expands knowledge on elliptic boundary value problems in irregular domains, a less explored field due to the mathematical complexity involved. Fractional Sobolev spaces are employed to develop a theoretical framework capable of handling these irregularities, something that is not possible with traditional techniques that assume smooth boundaries.

Practically, the results can be applied in various areas of physics and engineering where problems with irregular domains are common. For instance, in structural engineering and materials analysis, where the boundaries of analyzed objects are often not perfectly smooth. The ability to solve integral equations in these contexts can lead to significant improvements in the modeling and solution of real-world problems, resulting in more efficient and safer designs.

Thus, for a deeper understanding of variational formulations of boundary integral equations, appropriate functional spaces are essential. In this regard, Sobolev spaces provide a natural framework for addressing variational problems. This introductory study offers a concise overview of new theorems and lemmas, presenting fundamental results within the L^2 -theory of Sobolev Spaces, tailored to our objectives. For a more extensive examination of these topics, readers may refer to works such as Adams & Fournier (1975), McLean (2000), Grisvard (2011), Lions & Magenes (2012), Maz'ya (2013), Santos *et al.* (2024), and Santos & Sales (2024).

The objective of this study is to demonstrate the uniqueness and regularity of solutions to integral equations in irregular domains using fractional Sobolev spaces. It aims to provide a theorem that confirms the existence of unique solutions and that these solutions retain the regularity properties of the involved functions.

THE SPACES $H^s(\Omega)$

The Spaces $L^p(\Omega)$ ($1 \leq p \leq \infty$)

We denote by $L^p(\Omega)$ for $1 \leq p \leq \infty$, the space of equivalence classes of Lebesgue measurable functions u on the open subset $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ such that $|u|^p$ is integrable on Ω . We recall that two Lebesgue measurable functions u and v are said to be *equivalent* if they are equal almost everywhere in Ω , i.e., $u(x) = v(x)$ for all x outside a set of Lebesgue measure zero (see more, Kufner & Fucik (1977)). The space $L^p(\Omega)$ is a Banach space with the norm

$$\|u\|_{L^p(\Omega)} := \left(\int_{\Omega} |u(x)|^p dx \right)^{\frac{1}{p}}. \quad (1)$$

In particular, for $p = 2$, we have the space of all square integrable functions $L^2(\Omega)$ which is also a Hilbert space with the inner product

$$(u, v)_{L^2(\Omega)} := \int_{\Omega} u(x) \overline{v(x)} dx, \forall u, v \in L^2(\Omega). \quad (2)$$

A Lebesgue measurable function u on Ω is said to be *essentially bounded* if there exists a constant $c \geq 0$ such that $|u(x)| \leq c$ almost everywhere (a.e.) in Ω .

We define,

$$\operatorname{ess\,sup}_{x \in \Omega} |u(x)| = \inf \{c \in \mathbb{R} \mid |u(x)| \leq c \text{ a.e. in } \Omega\}. \quad (3)$$

By $L^\infty(\Omega)$, we denote the space of equivalence classes of essentially bounded, Lebesgue measurable functions on Ω . The space $L^\infty(\Omega)$ is a Banach space equipped with the norm

$$\|u\|_{L^\infty(\Omega)} := \operatorname{ess\,sup}_{x \in \Omega} |u(x)|. \quad (4)$$

We now introduce the Sobolev spaces $H^s(\Omega)$. Here and in the rest of this study $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ is a domain. For simplicity, we begin with $s = m \in \mathbb{N}_0$ and define these spaces by the completion of $C^m(\Omega)$ -functions. Alternatively, Sobolev spaces are defined in terms of distributions and their generalized derivatives (or weak derivatives), see, e.g., Adams & Fournier (1975), Hörmander (1969) and McLean (2000). It was one of the remarkable achievements in corresponding analysis that for Lipschitz domains both definitions lead to the same spaces. However, it is our belief that from a computational point of view the following approach is more attractive.

Let us first introduce the function space

$$C_*^m(\Omega) := \{u \in C^m(\Omega) \mid \|u\|_{W^m(\Omega)} < \infty\}$$

where,

$$\|u\|_{W^m(\Omega)} := \left\{ \sum_{|\alpha| \leq m} \int_{\Omega} |D^\alpha u|^2 dx \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Then, we define the Sobolev space of order m to be the completion of $C_*^m(\Omega)$ with respect to the norm $\|\cdot\|_{W^m(\Omega)}$. By this we mean that for every $u \in W^m(\Omega)$ there exists a sequence $\{u_k\}_{k \in \mathbb{N}} \subset C_*^m(\Omega)$ such that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|u - u_k\|_{W^m(\Omega)} = 0. \quad (6)$$

We recall that two Cauchy sequences $\{u_k\}$ and $\{v_k\}$ in $C_*^m(\Omega)$ are said to be equivalent if and only if $\lim_{k \rightarrow \infty} \|u - u_k\|_{W^m(\Omega)} = 0$. This implies that $W^m(\Omega)$, in fact, consists of all equivalence classes of Cauchy sequences and that the limit u in (2) is just a representative for the class of equivalent Cauchy sequences $\{u_k\}$. The space $W^m(\Omega)$ is a Hilbert space with the inner product defined by

$$(u, v)_m := \sum_{|\alpha| \leq m} \int_{\Omega} D^\alpha u \overline{D^\alpha v} dx. \quad (7)$$

Clearly, for $m = 0$ we have $W^0(\Omega) = L^2(\Omega)$.

The same approach can be used for defining the Sobolev space $W^s(\Omega)$ for non-integer real positive s . Let

$$s = m + \sigma, \quad m \in \mathbb{N}_0, \quad \text{and} \quad 0 < \sigma < 1; \quad (8)$$

and let us introduce the function space

$$C_*^m(\Omega) := \{u \in C^m(\Omega) \mid \|u\|_{W^s(\Omega)} < \infty\}, \quad (9)$$

where,

$$\|u\|_{W^s(\Omega)} := \left\{ \|u\|_{W^m(\Omega)}^2 + \sum_{|\alpha|=m} \int_{\Omega} \int_{\Omega} \frac{|D^\alpha u(x) - D^\alpha u(y)|}{|x - y|^{n+2\sigma}} dx dy \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

which is the Slobodetskii norm. Note that the second part in the definition (5) of the norm in $W^s(\Omega)$ gives the L^2 -version of fractional differentiability, which is compatible to the pointwise version in $C^{m,\alpha}(\Omega)$. In the same manner as for the case of integer order, the Sobolev space $W^s(\Omega)$ of order s is the completion of the space $C_*^s(\Omega)$ with respect to the norm $\|\cdot\|_{W^m(\Omega)}$. Again, $W^s(\Omega)$ is a Hilbert space with respect to the inner product

$$(u, v)_s := (u, v)_m + \sum_{|\alpha|=m} \int_{\Omega} \int_{\Omega} \frac{|D^\alpha u(x) - D^\alpha u(y)(D^\alpha v(x) - D^\alpha v(y))|}{|x - y|^{n+2\sigma}} dx dy. \quad (11)$$

Clearly, for $m = 0$ we have $W^0(\Omega) = L^2(\Omega)$.

Note, that all the definitions above are also valid for $\Omega = \mathbb{R}^n$. In this case, the space $C_0^\infty(\mathbb{R}^n)$ is dense in $W^s(\mathbb{R}^n)$ which implies that for $\Omega = \mathbb{R}^n$ the Sobolev spaces defined via distributions are the same as $W^s(\mathbb{R}^n)$. We, therefore denote

$$H^s(\mathbb{R}^n) := W^s(\mathbb{R}^n), \text{ for } s \geq 0. \quad (12)$$

Instead of the functions in $C^m(\Omega)$, let us now consider the function space of restrictions,

$$C^\infty(\Omega) := \left\{ u = \tilde{u}|_{\Omega}, \tilde{u} \in C_0^\infty(\mathbb{R}^n) \right\} \quad (13)$$

and introduce for $s \geq 0$ the norm

$$\|u\|_{H^s(\Omega)} := \inf \left\{ \|u\|_{H^s(\Omega)} \mid u = \tilde{u}|_{\Omega} \right\} \quad (14)$$

Now, we define $H^s(\Omega)$ to be the completion of $C^\infty(\bar{\Omega})$ with respect to the norm $\|\cdot\|_{H^s(\Omega)}$, which means that to every $u \in H^s(\Omega)$ there exists a sequence $\{u_k\}_{k \in \mathbb{N}} \subset C^\infty(\bar{\Omega})$ such that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|u - u_k\|_{H^s(\Omega)} = 0. \quad (15)$$

The Spaces $H_{00}^s(\Omega)$

If $s = m + \frac{1}{2}$, then the space $\tilde{H}^s(\Omega)$ is *strictly* contained in $H_0^s(\Omega)$:

$$\tilde{H}^s(\Omega) = \overline{C_0^{m+1}(\Omega)}^{\|\cdot\|_{H^s(\mathbb{R}^n)}} \stackrel{*}{\subset} H_0^s(\Omega) \quad (16)$$

In this case, Lions & Magenes (2012) characterize $\tilde{H}^s(\Omega)$ by using the norm

$$\|u\|_{H_{00}^s(\Omega)} = \left\{ \|u\|_{H^s(\Omega)}^2 + \sum_{|\alpha|=m} \left\| \rho^{-\frac{1}{2}} D^\alpha u \right\|_{L^2(\Omega)}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

where $\rho = \text{dist}(x, \partial\Omega)$ for $x \in \Omega$. More details, see Lions & Magenes (2012), that the norms $\|u\|_{H_0^s(\Omega)}$ and $\|\tilde{u}\|_{H^s(\mathbb{R}^n)}$ with $\tilde{u} = \begin{cases} u & \text{for } x \in \Omega, \\ 0 & \text{for otherwise,} \end{cases}$ are equivalent.

THE WEIGHTED SOBOLEV SPACES $\mathcal{H}^m(\Omega^c; \lambda)$ AND $\mathcal{H}^m(\mathbb{R}^n; \lambda)$

In applications one often deals with exterior boundary-value problems. In order to ensure the uniqueness of the solutions to the problems, appropriate growth conditions at infinity must be incorporated into the solution spaces. For this purpose, a class of weighted Sobolev spaces in the exterior domain $\Omega^c := \mathbb{R}^n \setminus \bar{\Omega}$ or in the whole \mathbb{R}^n is often used.

For simplicity we shall confine ourselves only to the case of the weighted Sobolev spaces of order $m \in \mathbb{N}$. We begin with the subspace of $C^m(\Omega^c)$,

$$C^m(\Omega^c; \lambda) := \{u \in C^m(\Omega^c) \mid \|u\|_{H^m(\Omega^c; \lambda)} < \infty\} \quad (18)$$

where $\lambda \in \mathbb{N}_0$ is given. Here, $\|\cdot\|_{H^m(\Omega^c; \lambda)}$ is the weighted norm defined by

$$\|u\|_{H^m(\Omega^c; \lambda)} := \left\{ \sum_{0 \leq |\alpha| \leq k} \|\varrho^{-(m-|\alpha|-\lambda)} \varrho_0^{-1} D^\alpha u\|_{L^2(\Omega^c)}^2 + \sum_{k+1 \leq |\alpha| \leq m} \|\varrho^{-(m-|\alpha|-\lambda)} D^\alpha u\|_{L^2(\Omega^c)}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (19)$$

where $\varrho = \varrho(|x|)$ and $\varrho_0 = \varrho_0(|x|)$ are the weight functions defined by

$$\varrho(|x|) = (1 + |x|^2)^{\frac{1}{2}}, \varrho_0(|x|) = \log(2 + |x|^2), x \in \mathbb{R}^n, \quad (20)$$

and the index k in (12) is chosen depending on n and λ such that

$$k = \begin{cases} m - \left(\frac{n}{2} + \lambda\right), & \text{if } \frac{n}{2} + \lambda \in \{1, \dots, m\}, \\ -1, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (21)$$

The weighted Sobolev space $H^m(\Omega^c; \lambda)$ is the completion of $C^m(\Omega^c; \lambda)$ with respect to the norm $\|\cdot\|_{H^m(\Omega^c; \lambda)}$. Again, $H^m(\Omega^c; \lambda)$ is a Hilbert space with the inner product

$$(u, v)_{H^m(\Omega^c; \lambda)} := \sum_{0 \leq |\alpha| \leq k} (\varrho^{-(m-|\alpha|-\lambda)} \varrho_0^{-1} D^\alpha u, \varrho^{-(m-|\alpha|-\lambda)} \varrho_0^{-1} D^\alpha v)_{L^2(\Omega^c)} + \sum_{k+1 \leq |\alpha| \leq m} (\varrho^{-(m-|\alpha|-\lambda)} D^\alpha u, \varrho^{-(m-|\alpha|-\lambda)} D^\alpha v)_{L^2(\Omega^c)}. \quad (22)$$

In a complete analogy to $H_0^m(\Omega)$, we may define

$$H_0^m(\Omega^c; \lambda) = \overline{C_0^m(\Omega^c; \lambda)}^{\|\cdot\|_{H^m(\Omega^c; \lambda)}} \stackrel{*}{\subset} H^m(\Omega^c; \lambda) \quad (23)$$

where $C_0^m(\Omega^c; \lambda)$ is the subspace

$$C_0^m(\Omega^c; \lambda) = \{u \in C_0^m(\Omega^c) \mid \|u\|_{H^m(\Omega^c; \lambda)} < \infty\}. \quad (24)$$

TRACE SPACES FOR PERIODIC FUNCTIONS ON \mathbb{R}^2

In the special case $n = 2$ and $\Gamma \in C^\infty$, the trace spaces can be identified with spaces of periodic functions defined by Fourier series. For simplicity, let Γ be a simple, closed curve. Then Γ admits a global parametric representation

$$\Gamma: x = x(t) \text{ for } t \in [0,1] \text{ with } x(0) = x(1) \quad (25)$$

satisfying

$$\left| \frac{dx}{dt} \right| \geq \gamma_0 > 0 \text{ for all } t \in \mathbb{R}. \quad (26)$$

Clearly, any function on Γ can be identified with a function on $[0,1]$ and its 1–periodic continuation to the real axis. In particular, $x(t)$ in (15) can be extended periodically. Then any function f on Γ can be identified with $f \circ x$ which is 1–periodic. Since $\Gamma \in C^\infty$, we may use either of the definitions of the trace spaces defined previously. In particular, for $s = m \in \mathbb{N}_0$, the norm $u \in \mathcal{H}^m(\Gamma)$ in the standard trace spaces is given by

$$\|u\|_{\mathcal{H}^m(\Gamma)} := \left\{ \sum_{r=1}^p \|\widetilde{\alpha_{(r)} u}\|_{H^s(\mathbb{R}^{n-1})}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (27)$$

with $n = 2$; namely

$$\|u\|_{\mathcal{H}^m(\Gamma)} = \left\{ \sum_{r=1}^p \sum_{0 \leq \beta \leq m} \int_{\mathbb{R}} |(\alpha_{(r)} u)^{(\beta)}(t)|^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (28)$$

For 1–periodic functions $u(t)$, this norm can be shown to be equivalent to a weighted norm in terms of the Fourier coefficients of the functions. As is well known, any 1–periodic function can be represented in the form

$$u(x(t)) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \hat{u}_j e^{2\pi i j t}, t \in \mathbb{R} \quad (29)$$

where \hat{u} are the Fourier coefficients defined by

$$\hat{u}_j = \int_0^1 e^{-2\pi i j t} u(x(t)) dt, j \in \mathbb{Z}. \quad (30)$$

Next, we propose a novel theorem that addresses the uniqueness and regularity of solutions to integral equations in domains with irregular boundaries. The proposed “*Irregular Domain Integral Equation Uniqueness and Regularity Theorem*” leverages the framework of elliptic boundary value problems, Sobolev spaces, and their fractional counterparts.

IRREGULAR DOMAIN INTEGRAL EQUATION UNIQUENESS AND REGULARITY THEOREM

Theorem. Given the integral equation

$$u(x) = \int_{\Omega} K(x,y)u(y)dy + f(x) \quad (31)$$

Where Ω is a domain with possibly irregular boundaries, $K(x,y)$ is the integral kernel, and $f(x)$ is a given function in $L^2(\Omega)$, there exists a unique solution $u(x)$ in the fractional Sobolev space $W^s(\Omega)$. Furthermore, if $f \in L^2(\Omega)$, the solution $u \in W^s(\Omega)$ inherits the regularity properties of f , and potentially $W^{s+\alpha}(\Omega)$ for some $\alpha > 0$.

Proof.

1. **Existence:** Construct the solution using the theory of distributions and properties of Sobolev spaces, ensuring the integral operator $\mathcal{T}[u](x) = \int_{\Omega} K(x,y)u(y)dy$ is bounded and compact in $W^s(\Omega)$.
2. **Uniqueness:** Show that if u_1 and u_2 are two solutions, then their difference $v = u_1 - u_2$ satisfies the homogeneous equation $v(x) = \int_{\Omega} K(x,y)v(y)dy$. Using properties of Sobolev norms and the Poincaré inequality, demonstrate that $\|v\|_{W^s(\Omega)} = 0$, implying $v(x) = 0$ almost everywhere.
3. **Regularity:** Prove that the solution u inherits the regularity of f by analyzing the integral operator's action on functions in $L^2(\Omega)$. Use embedding theorems and Sobolev inequalities to show that $u \in W^s(\Omega)$ and may belong to a higher-order Sobolev space $W^{s+\alpha}(\Omega)$ depending on the smoothness of f and properties of $K(x,y)$.

FINAL CONSIDERATIONS

In this paper, we have developed a new theory to address the uniqueness and regularity of solutions to integral equations derived from elliptic boundary value problems in irregular domains. The main objectives were to extend the classical results, which typically assume smooth domain boundaries, to more general cases where the domain boundaries may be irregular. The innovative approach utilizes fractional Sobolev spaces $W^s(\Omega)$ and the properties of the Slobodetskii norm to rigorously analyze these problems.

The primary result, encapsulated in our main theorem, demonstrates that for a given integral equation

$$u(x) = \int_{\Omega} K(x,y)u(y)dy + f(x) \quad (32)$$

where $K(x,y)$ is the kernel and $f(x)$ is a given function, there exists a unique solution $u \in W^s(\Omega)$. Moreover, the solution inherits the regularity of f , meaning that if $f(x) \in L^2(\Omega)$, then $u \in W^s(\Omega)$, and potentially even in $W^{s+\alpha}(\Omega)$ for some $\alpha > 0$. This result is significant as

it broadens the applicability of integral equations to more complex and realistic scenarios involving irregular domains.

The mathematical innovation lies in the application of fractional Sobolev spaces and the detailed analysis of their properties, which allows for the handling of non-smooth boundaries. The results obtained not only provide theoretical insights but also pave the way for practical applications in various scientific and engineering disciplines where boundary value problems in irregular domains are common. This work opens up new avenues for future research, including the numerical approximation of solutions in these generalized settings and the exploration of further applications in physical and engineering problems.

The results obtained in this research provide a new perspective on solving integral equations in irregular domains. The main contribution is the proof that such equations have unique solutions in fractional Sobolev spaces and that these solutions inherit the regularity properties of the original functions. This is particularly relevant to academia as it expands the theoretical understanding of boundary value problems in non-smooth domains, opening new possibilities for future research. For society, the theoretical advancements can be applied in various practical areas, such as engineering and physics, improving accuracy and efficiency in solving complex problems involving irregular domains.

The limitations of this research include the need for more empirical studies to validate the theoretical results in specific practical applications and the possible computational complexity involved in implementing the proposed methods in real situations. Furthermore, future research could explore extending the results to domains with even more general types of irregularities and different boundary conditions.

REFERENCES

1. Adams, R. A., & Fournier, J. F. (1975). *Sobolev spaces*, acad. Press, New York, 19(5).
2. Fichera, G. (1965). *Linear elliptic differential systems and eigenvalue problems* (Vol. 8). Berlin-Heidelberg-New York: Springer.
3. Grisvard, P. (2011). *Elliptic problems in nonsmooth domains*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
4. Hörmander, L. (1969). *Linear partial differential operators*. Springer.
5. Kufner, A., John, O., & Fucik, S. (1977). *Function spaces Academia. Praha-Noordhoff, Leyden*.
6. Lions, J. L., & Magenes, E. (2012). *Non-homogeneous boundary value problems and applications: Vol. 1* (Vol. 181). Springer Science & Business Media.
7. Maz'ya, V. (2013). *Sobolev spaces*. Springer.
8. McLean, W. C. H. (2000). *Strongly elliptic systems and boundary integral equations*. Cambridge university press.
9. Santos, R. D. C. dos, & Sales, J. H. de O. (2024). Incompressible Schrödinger Flow with Heat-Transfer: An Introduction to the Analysis of Isotropic Fluid Dynamics in Sobolev Spaces for an Immersed Arbitrary Isothermal Geometry. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 10(4), 18200. <https://doi.org/10.18540/jcecvl10iss4pp18200>

10. Santos, R. D. C. dos, Sales, J. H. de O., & Silva, A. R. da. (2024). A brief functional investigation via Sobolev spaces to analyze the behavior of Oseen flow in external domains. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 10(2), 18055. <https://doi.org/10.18540/jcecvl10iss2pp18055>

ACKNOWLEDGEMENTS

The author, thanks the Book “**Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos**” for the support provided in scientific dissemination and publication, especially in the areas of Engineering, Pure and Applied Mathematics.

Detecção de enzimas de interesse biotecnológico e industrial em fungos isolados de solos de jardins

Detection of enzymes of biotechnological and industrial interest by fungi isolates from garden soils

Lucas Eduardo S. Freitas Lima

Graduação em Engenharia Química, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3207-6874>

Virginia M.P. de Melo Macêdo

Graduação em Engenharia Química, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9201-3179>

Idalvani Raabe da Silva

Graduação em Engenharia Química, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5167-1545>

Arthur Eboli Leocadio

Graduação em Engenharia Química, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5167-1545>

Vinicius Holanda de Paiva

Graduação em Engenharia Química, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9201-3179>

Adriana Ferreira de Souza

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais-CEMACBIOS/UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9527-2206>

Marcella Estanislau

Escola IcamTech, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8237-349x>

Pamello Pablo Martins

Escola IcamTech, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6319-6915>

André Felipe Santos Lima

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais-CEMACBIOS/UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5399-3053>

Galba Maria de Campos-Takaki

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais-CEMACBIOS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>



RESUMO

As enzimas hidrolíticas vêm sendo cada dia mais utilizadas devido ao interesse biotecnológico e importância industrial. Nesse sentido, investigações foram realizadas na busca de isolados de fungos filamentosos em solos de jardins (residencial e público), com potencial de produção de enzimas hidrolíticas. Os solos coletados em jardins residencial (Recife-Pe) e público (município de Itapissuma-Pe). O isolamento dos fungos foi realizado pelo método de diluição seriada utilizando o meio de cultura Martim ágar. Os fungos isolados foram identificados por exame microscópico, corado com azul de algodão com lactofenol, cultivado em lâmina e meios específicos para identificação. Em seguida, os isolados foram avaliados quanto a produção das enzimas amilase, celulase, protease e lipase, pelo método de detecção em poço. Os resultados obtidos indicaram em ambos os locais a presença de *Aspergillus novoparasiticus* catalogado como UCP 0979 (jardim residencial) e *Penicillium citrinum* UCP 0980 (jardim público). O *A. novoparasiticus*., produziu as enzimas amilase, carboximetil celulase, lipase e protease, destacando-se a carboximetil celulase com maior atividade com 72h de incubação, halo de 0,825 cm e IE de 13,75. A linhagem de *P. citrinum* isolada do jardim público de Itapissuma apresentou produção de carboximetil celulase e amilase com halo de 0,625 e IC de 10,42, com 96h de incubação, respectivamente. Os estudos revelaram que *Penicillium citinum* foi grande produtor de amilase e celulase, enquanto o *Aspergillus novoparasiticus* demonstrou maior potencial de produção de enzimas hidrolíticas, destacando-se a carboximetil celulase, sugerindo que o solo de jardim residencial possibilita o isolamento de micro-organismos com elevado potencial biotecnológico.

Palavras-chave: enzimas hidrolíticas; biotecnologia; jardim; atividade enzimática.

ABSTRACT

Hydrolytic enzymes are increasingly being used due to their biotechnological interest and industrial importance. In this sense, investigations were carried out in search of fungal isolates filamentous in garden soils (residential and public), with potential to produce hydrolytic enzymes. Soils collected from residential (Recife-Pe) and public gardens (municipality of Itapissuma-Pe). The isolation of fungi was carried out by the serial dilution method using the Martim agar culture medium. The isolated fungi were identified by microscopic examination, stained with cotton blue with lactophenol, cultured on slides and specific means for identification. Then, the isolates were evaluated to produce amylase, cellulase, protease and lipase enzymes, using the well detection method. The results obtained indicated the presence of *Aspergillus novoparasiticus* cataloged as UCP 0979 (residential garden) and *Penicillium citrinum* UCP 0980 (public garden) in both locations. *A. novoparasiticus* produced the enzymes amylase, carboxymethyl cellulase, lipase and protease, highlighting carboxymethyl cellulase with the highest activity after 72h of incubation, halo of 0.825 cm and IE of 13.75. The *P. citrinum* strain isolated from the Itapissuma public garden showed production of carboxymethyl cellulase and amylase with a halo of 0.625 and IC of 10.42, with 96h of incubation, respectively. The studies revealed that *Penicillium citinum* UCP 0980 was a major producer of amylase and cellulase, while *Aspergillus novoparasiticus* UCP 0979 demonstrated greater potential to produce hydrolytic enzymes, particularly carboxymethyl cellulase, suggesting that residential garden soil enables the isolation of microorganisms with high biotechnological potential.

Keywords: hydrolytic enzymes; biotechnology; garden soil; enzyme activity

INTRODUÇÃO

Micro-organismos têm sido utilizados desde a antiga civilização humana com a primeira aplicação comercial utilizando leveduras para produzir bebidas alcoólicas, a partir de cevada pelos babilônios e sumérios em 6.000 a.C. Neste sentido, os micro-organismos demonstram ser uma excelente fonte para a produção de enzimas considerando o potencial biotecnológico que, podem oferecer vantagens nos bioprocessos, ganhando interesse por causa de tempo de processo reduzido, consumo de baixa energia, custo características eficazes, não tóxicas e ecológicas, além de tecnologicamente limpos (“white biotechnology”), em especial as enzimas hidrolíticas produzidas por diversos micro-organismos com ampla aplicação em diferentes setores industriais (Francisco, 2016; Rajendra *et al.*, 2016; Goda *et al.*, 2024).

O uso de enzimas como biocatalisadores é mais viável do que o uso de catalisadores químicos, considerando os custos reduzidos na produção de biocatalisadores, na redução de subprodutos indesejáveis e à seletividade do sistema enzima-substrato. Essa especificidade das enzimas proporciona um maior rendimento no processo, resultando em produtos biodegradáveis (química verde) e gerando menores quantidades de resíduos (Mendes *et al.*, 2011).

As enzimas de origem microbiana, podem ser cultivadas em grande parte por manipulações genéticas, destacando-se o crescimento das indústrias produtoras de enzimas, com aplicações seguras, com maior eficiência e produtos de maior qualidade em alimentos, na agricultura, produtos químicos, produtos farmacêuticos, têxteis, papel, couro, na medicina, entre outros (Gurung *et al.*, 2013; Javed *et al.*, 2018; Zaitsev, Savina & Zaitsev, 2019).

Entre as enzimas hidrolíticas as lipases são enzimas que pertencem à família α/β hidrolases (Kapoor & Gupta, 2012; Priji *et al.*, 2014), não necessitando de cofator para a atividade e permanecer ativa em solventes orgânicos (Lee *et al.*, 2015), o que torna os lipases biocatalisadores mais utilizados industrialmente (Thakur, Tewari & Sharma, 2014; Ashfaq, 2015). As lipases ainda têm como vantagens, a capacidade de catalisar diversas reações, produzir altos rendimentos, reduzir custos de produção, facilidade relativa de manipulação genética, estabilidade estrutural em solventes orgânicos, independência de cofatores, capacidade de catalisar reações com uma ampla gama de substratos e alta enantiosseletividade (Carvalho *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2015; Javed *et al.*, 2018; Zaitsev, Savina & Zaitsev, 2019).

Além das lipases, outras hidrolases empregadas nos setores industriais incluem amilase, celulase, protease e lipase (Monteiro & Silva, 2009).

A amilase é de interesse industrial e possui aplicação nas indústrias alimentícia e de fermentação, farmacêutica, médica, clínica, além de ser um bom agente antibiofilme (Souza & Magalhães, 2010; Kalpana *et al.*, 2012; Padmavathi *et al.*, 2018).

A celulase é uma enzima com grande valor industrial, ocupando cerca de 20% do mercado mundial de enzimas, com importante função na produção de biocombustível (Srivastava *et al.*, 2018), na indústria de sucos e frutas, e, principalmente, nas indústrias

têxtil, de papel e celulose (Monteiro & Silva, 2009).

A protease é a enzima mais utilizada mundialmente nas indústrias e é amplamente aplicada na degradação de proteínas e síntese de peptídeos (Yadav *et al.*, 2015; chi *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2012). Ela é empregada nas indústrias alimentícia e de ração animal, de papel e celulose, de processamento de couro e farmacêutica (Monteiro & Silva, 2009).

As enzimas podem ser produzidas por duas rotas de fermentação: uma em estado sólido (FES) e outra por estado submerso (FS) (Valente *et al.*, 2010). Diante desse contexto, justifica-se a busca por novas fontes microbianas, em especial, novos isolados de fungos do gênero *Aspergillus*, considerando o elevado potencial enzimático desse gênero em diversos processos, bem como, o uso de solo de jardim por ser rico e complexo, composto por matéria orgânica e partículas inorgânicas e minerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta do Solo

Os solos coletados foram localizados em Recife-Pe, jardim residencial (8°01'12"S 34°55'44"W) e jardim público do município Itapissuma-Pe (7°45'08"S 34°55'08"W), empregando espátula e frascos esterilizados, visando assegurar uma representação abrangente da biodiversidade microbiana, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Amostras A - jardim residencial Recife-Pe e amostra B jardim público de Itapissuma-Pe.



Meios de Cultura para Isolamento e Cultivo de Fungos

Os meios de cultura preparados para os isolamentos e cultivos de fungos foram: Sabouraud Dextrose Ágar, constituído de: [Dextrose 40 g, Peptona universal 10 g, e Ágar 15g e água destilada 1000mL pH=5,5; e o Meio de Martin, constituído de:[Dextrose 10g, Peptona 5g, Extrato de levedura 0,5g, Fosfato monobásico 1,0g, Sulfato de magnésio 0,5 g. Após a autoclavagem foi adicionado estreptomomicina (3 microgramas por mL⁻¹).

Isolamento de Fungos pelo Método da Diluição Seriada

Cerca de 10g de cada amostra de solo A(jardim residencial) e B (jardim público) foi diluída em 100 mL, e em seguida, cada amostra foi submetida a uma série de diluições decimais de 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5} . Em seguida, foram utilizadas as diluições 10^{-4} e 10^{-5} de cada amostra de solo para subsequente inoculação nos meios de cultura Sabouraud Dextrose Ágar e Martim Ágar, em triplicata, e incubadas em estufa a 28^o C, sendo acompanhada até o aparecimento de colônias de fungos filamentosos.

Identificação dos Fungos Filamentosos

Os fungos isolados foram identificados avaliando-se as características macromorfológicas (cor, aspecto e diâmetro das colônias) e micromorfologias, conforme descrito em literaturas especializadas (Pitt ,1997; Klich , 2002; Gonçalves *et al.*, 2012; Frisvad e Larsen, 2015). Para observação macromorfológica das culturas foram inoculadas em três pontos equidistantes nos meios Ágar Extrato de Levedura Czapek (CYA) e Ágar Extrato de Malte (MEA), incubadas a 25°C e 37°C, respectivamente. Todos os meios foram preparados conforme descrito por Pitt (2000) e Klich (2002).

Detecção da Produção de Enzimas Hidrolíticas nos Isolados de Fungos

Amilase: a capacidade dos isolados em produzir amilase foi avaliada de meio ágar nutriente, contendo amido a 1%, como fonte de carbono [Extrato de carne 1,5g, Amido solúvel 10g, Peptona 5g, Ágar 15g para 1000mL, pH=7,4]. As placas contendo meio para detecção de amilase foram inoculadas com uma suspensão dos *A.parasiticus* e *P. citrinun*, respectivamente, e em seguida, incubadas à temperatura de 28^o C. As placas foram observadas a cada 24h, e ao final de 96h de incubação, as placas foram reveladas com 5,0 mL de tintura de iodo. Uma zona transparente ao redor do poço indicou a atividade amilolítica, sendo expressa em mm.

Celulase: A produção de celulase foi detectada em meio mesmo meio AN, contendo 1% de carboximetilcelulose como fonte de carbono. A cada 24h de incubação foi observada a atividade celulolítica, que foi constatada pela coloração com vermelho Congo, que facilita a visualização do halo de degradação de carboximetilcelulose .

Lipase: Para a avaliação da enzima lipase, utilizou-se 0,001% de Rodamina B acrescido de 1% de azeite de oliva ao meio como fonte de carbono. Após 24 até 168h de incubação, as placas foram observadas. A atividade lipolítica de cada fungo foi observada pelo halo de degradação do substrato, sendo visualizado pela luz ultravioleta (359 nm), em que a fluorescência ao redor do poço caracteriza a hidrólise do substrato (azeite de oliva) e pela formação de ácidos graxos.

Protease: A atividade proteolítica foi realizada em meio contendo 1% de caseína como fonte de carbono. Após 96 h de incubação, adicionou-se às placas 5,0 mL de uma solução de ácido acético a 5%, cujo precipitado torna o ágar mais opaco e acentua as zonas claras ao redor das colônias, caracterizando a hidrólise da caseína.

Índice Enzimático (IE)

A atividade enzimática foi determinada por meio da relação entre o diâmetro do halo de degradação do substrato e o diâmetro do poço, inoculado com 50 L de suspensão de esporos na concentração de 10⁷ esporos/mL, expressa em cm, correspondendo ao índice enzimático (IE), como descrito por Hankin e Anagnostakis (1975).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fungos filamentosos isolados de jardins residencial e público foram identificados 02 táxons já conhecidos na literatura, como: *Aspergillus* o isolado de jardim residencial codificados como UCP0979 e *Penicillium* UCP0980, o isolado do jardim público, respectivamente. Os isolados mencionados foram identificados com base na chave morfológica a seguir:

Chave de identificação de espécies de fungos filamentosos isolados de solo de jardins

1. Conidióforo com ápice inflado (vesícula), contendo numerosas fiálides e métulas (bisseriado).....*Aspergillus*

1'. Vesículas espatuladas a piriformes, variando de 20-26 x 16x22, fiálides com colarinhos, conídios verde oliva a verde papagaio em CYA 25 oC, alcançando 3 a 6 µm de diâmetro. Sieriação predominantemente monossериada.....*A. novoparasiticus*

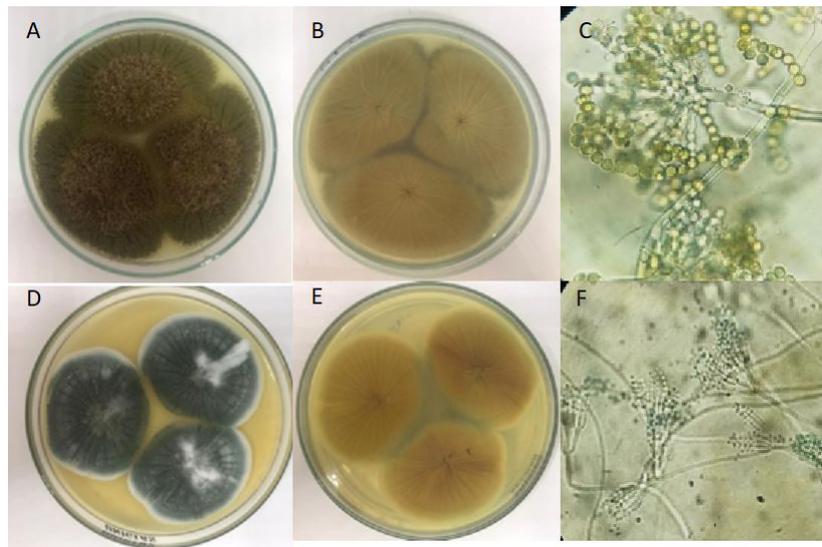
2. Conidióforo com produção regular de ramos verticilados, com fiálides ampiliformes com métulas curtas.....*Penicillium* do subgênero *Furcatum*

2'. Colônias no MEA são inferiores a 25 mm de diâmetro e alcançando 35 mm de diâmetro no CYA 25°C, conídios esféricos lisos a finamente rugosos.....*P. citrinum*

As características macroscópicas de amostras de *Aspergillus novoparasiticus*, assim como algumas amostras de *Aspergillus parasiticus*, apresentam colônias com coloração variando de amarelo-esverdeado a verde-oliva (Figura 1A), com reverso amarelo-pálido a verde-acinzentado (Figura 1B) (Klick, 2002; Frisvad e Larsen, 2015). Essas espécies diferenciam-se principalmente, pela forma da vesícula. A vesícula da espécie *A. novoparasiticus* é espatular a piriforme (Figura 1C), enquanto a vesícula de *A. parasiticus* é globosa, podendo alcançar até 40 µm, com fiálides cilíndricas (Klick *et al.*, 2012; Samson *et al.*, 2010; Gonçalves *et al.*, 2012).

O subgênero *Furcatum* é representa amostras de *Penicillium* biverticilados, assim como o subgênero *Biverticillium*, que se diferenciam principalmente, pela forma das fiálides, que são ampiliformes no primeiro e acerosas no segundo. A maioria das espécies pertencentes ao subgênero *Biverticillium* é atualmente reconhecida pelo gênero *Talaromyces*. O *Penicillium citrinum* apresenta colônias sulcadas com bordas velutinas, esporulação cinza-turquesa com exsudato translúcido em CYA (figura 1D) e reverso amarelado (figura 1E). Essa amostra não possui pigmento solúvel. É reconhecida por suas métulas divergentes (3-5), geralmente vesiculadas, e longos conidióforos (figura 1F) (Pitt, 2000).

Figura 2 - A. Colônias de *Aspergillus novoparasiticus* UCP0979 anverso em CYA 25°C. Colônias de *A. novoparasiticus* UCP0979 reverso em CYA 25°C. Conidióforo e conídios de *A. novoparasiticus* UCP0979. A. Colônias de *Penicillium citrinum* UCP0980 anverso em CYA 25°C. Colônias de *P. citrinum* UCP0980 reverso em CYA 25°C. Conidióforo biverticilado e conídios de *P. citrinum*. C = 20 µm; F = 10 µm



As enzimas mais empregadas em processos industriais são as hidrolíticas quanto ao seu modo de ação degradando várias substâncias naturais (Gupta *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2006) em outras de maior valor. Dentre elas, as amilases e proteases são as mais importantes sob o ponto de vista industrial (Ghorbel *et al.*, 2002).

Neste contexto, estudos foram realizados com os fungos isolados, identificados e catalogados na produção de amilase, celulase, protease e lipase, considerando a importância biotecnológica e industrial.

Segundo, Oliveira *et al.* (2006), o índice enzimático (IE) é um dos parâmetros semiquantitativos mais usados para se avaliar a habilidade degradativa, sendo recomendado um $IE \geq 2,0$ para considerar um micro-organismo produtor de enzimas em meio sólido.

A indústria mundial de enzimas está projetada para atingir US \$ 16,9 bilhões até 2027, devido ao crescente uso de enzimas como substitutos químicos, particularmente em alimentos e bebidas, limpeza e aplicações farmacêuticas, o mercado de enzimas industriais apresentou um crescimento significativo (Goda *et al.*, 2024).

Estudos foram realizados investigando o potencial biotecnológico dos fungos filamentosos isolados de solo de jardins residencial e público, visando conhecer a produção de enzimas em meio sólido, além da atividade enzimática e crescimento no poço, sendo estabelecido o índice enzimático (IE) crescente nos períodos de 72 e 96 horas e o IE de *A. novoparasiticus* UCP0979 *P. citrinum* UCP0980, respectivamente, como apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Observou-se que o *A. novoparasiticus* UCP0979 apresenta elevado potencial enzimático para todas as enzimas testadas demonstrando aplicabilidade nas áreas. Contudo, para carboximetil celulase com 72h observou-se o máximo de produção, decaindo com 96h de incubação (tabela 1).

Tabela 1 - Atividade enzimática e Índice Enzimático apresentado pelo *A.novoparasiticus* UCP 0979 (isolado de solo de jardim residencial).

ENZIMAS	Halo(72h) (cm)	IE	Halo(96h)(cm)	IE
AMILASE	0,290	4,83	0,625	10,42
CARBOXIMETIL CELULASE	0,825	13,75	0,775	12,92
PROTEASE	0,505-	8,42-	-0,625	10,42-
LIPASE	0,600-	10-	-0,675	11,25-

Poço= 0,06cm

Os estudos realizados com solo de jardim público indicaram a presença de *Penicillium citrinum*, destacando-se a produção de amilase e carboximetil celulase, com produção a partir de 96h de incubação, com halos expressivos e índice enzimático (tabela 2).

Tabela 2 - Atividade enzimática e Índice Enzimático apresentado pelo *P. citrinum* UCP0980 (isolado de solo de jardim público de Itapissuma-Pe). (-) = Ausência de produção de enzima.

Enzimas	Halo(72h) (cm)	IE	Halo(96h) (cm)	IE
AMILASE	0,075	1,25	0,625	10,42
CARBOXIMETIL CELULASE	0,470	7,83	0,600	10.00
PROTEASE	-	-	-	-
LIPASE	-	-	-	-

Fonte: autoria própria

Menezes *et al.* (2016) obtiveram um índice enzimático máximo de 2,615 cm com cepas de rizóbio do semiárido. Esses resultados corroboram a diversidade nas respostas de diferentes micro-organismos aos substratos específicos e às condições de cultivo. A variação na produção de enzimas entre os fungos *Aspergillus parasiticus* UCP0979 e *Penicillium citrinum* pode ser atribuída a diferenças genéticas, metabólicas e adaptativas entre esses organismos, de acordo com a literatura (Jones e Brown, 2018; Smith *et al.*, 2020; Goda *et al.*, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a importância das enzimas microbianas para a agricultura, produtos químicos, produtos farmacêuticos, têxteis, papel, couro, na medicina, entre outros, os estudos realizados vêm contribuir com novos isolados *Aspergillus parasiticus* UCP0979 e *Penicillium citrinum* identificados, catalogados e depositados no banco de culturas UCP (Universidade Católica de Pernambuco), reconhecido e cadastrado na WFCC (World Federation For Culture Collection). As investigações realizadas demonstram que a bioprospecção de solos de jardins é uma alternativa viável na busca de micro-organismos produtores de enzimas hidrolíticas, demonstrando ser uma solução viável e promissora. Além disto, coloca também à disposição micro-organismos com elevado potencial na produção de enzimas hidrolíticas, possibilitando amplas aplicações biotecnológicas e industriais.

REFERÊNCIAS

- ASHFAQ, M. **Basmati–Rice a Class Apart (A review)**. Rice Research: Open Access, v. 03, n. 04, p.1-8, 2015.
- BUZZINI, P.; MARTINI, A. **Extracellular enzymatic activity profiles in yeast and yeast-like strains isolated from tropical environments**. J. Appl. Microbiol., v. 93, n. 6, p. 1020-1025, 2002.
- CARVALHO, A *et al.* **Recent Advances in Lipase-Mediated Preparation of Pharmaceuticals and Their Intermediates**. International Journal of Molecular Sciences, v. 16, n. 12, p. 29682- 29716, 2015.
- CHI, C.-F., Wang, B., Wang, Y.-M., Zhang, B. e Deng, S.-G. (2015). **Isolamento e caracterização de três peptídeos antioxidantes do hidrolisado protéico de cabeças de jaqueta de couro de atum rabilho (Navodon septentrionalis)**. J. Funct. Foods 12, 1–10, 2015.
- DE MENEZES, A. C. M. A. *et al.* Perfil Enzimático de Cepas de Rizóbios Isolados do Semiárido. Enciclopédia Biosfera, v. 13, p. 1263–75, 2016.
- FRANCISCO, MICHELE RODRIGUES. **Seleção e identificação de Trichoderma, spp. e potencial para produção de enzimas industriais**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2016.
- FRISVAD, J.C.; LARSEN, T.O. Chemodiversity in the genus *Aspergillus*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 99, p. 7859-7877. 2015.
- GHORBEL, B., SELAMI-KAMOUN, A., NASRI, M. **Stability studies of protease from Bacillus cereus BG1**. Enzyme and Microbial Technology, 32:513-518, 2002.
- GONÇALVES, S.S. *et al.* *Aspergillus novoparasiticus*: **a new clinical species of the section Flavi**. Medical Mycology, v. 50, n. 2, p. 152–160, 2012. doi:10.3109/13693786.2011.593564.
- GUPTA, R., GIGRAS, P., MOHAPATRA, H., GOSWAMI, V.K., CHAUHAN, B. **Microbial alpha-amylases: a biotechnological perspective**. Process Biochemistry, 38:1599-1616, 2003.
- GODA, D.A.; SHAKAM, H.M.; METWALLY, M.E.; HAGERA, ABDELRASOUL, H.A.; & MOHAMED M. YACOUT, M.M. **Enhancement of cellulolytic enzyme production from intrageneric protoplast fusion of Aspergillus species and evaluating the hydrolysate scavenging activity**. Microbial Cell Factories, 23:73, 2024. <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02343-y>
- HANKIN, L.; ANAGNOSTAKIS, S. L. **The use of solid media for detection of enzymes production by fungi**. Mycologia, v. 67, n. 3, p. 597-607, 1975.
- JAVED, S.; AZEEM, F.; HUSSAIN, S.; RASUL, I. **Bacterial lipases: A review on purification and characterization**. Progress in Biophysics and Molecular Biology, v. 132, p. 23-34, 2018.
- JONES B, BROWN C. **“Microbial enzyme production in response to environmental conditions.”** Environmental Microbiology Reports, 2018.
- KALPANA, B. J.; S. Aarthy, S. **Karuthapandian, Appl. Biochem. Biotechnol.** 167(6) (2012) 1778-94. 2012.
- KAPOOR, M.; GUPTA, M.N. **Lipase promiscuity and its biochemical applications**. Process Biochemistry, v. 47, n. 4, p.555-569, 2012.
- KLICH, M. A. **Identification of Common Aspergillus species**. Netherlands: Centraalbureau voor Schimmelauteurs, 2002.

- LEE, L.P.; KARBUL, H.M.; CITARTAN, M.; GOPINATH, S.C.B. **Lipase-Secreting Bacillus Species in an Oil-Contaminated Habitat: Promising Strains to Alleviate Oil Pollution**. Biomed Research International, v. 2015, p. 1-9, 2015.
- MENDES, A. A.; DE OLIVEIRA, P. C.; DE CASTRO, H. F.; GIORDANO, R. D. L. C. **Application of chitosan as support for immobilization of enzymes of industrial interest**. Quimica Nova, v. 34, n. 5, p. 831-840, 2011.
- MONTEIRO, V. N., & SILVA, R. do N. **Aplicações Industriais da Biotecnologia Enzimática**. Revista Processos Químicos, 3(5), 9-23, 2009.
- OLIVEIRA, A. C. D.; WATANABE, F. M. F.; VARGAS, J. V. C.; MARIANO, A. B.; RODRIGUES, M. L. F. **Comparação entre três bioprocessos para a produção de agroindustriais**. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, v. 6, n. 2, p. 822-831, 2012.
- OLIVEIRA, A. N., OLIVEIRA, L. A., ANDRADE, J.S., JÚNIOR, A.F.C. **Enzimas hidrolíticas extracelulares de isolados de rizóbia nativos da Amazônia Central, Amazonas, Brasil**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 26:853-860, 2006.
- PADMAVATHI, T.; BHARGAVI, R.; PRIYANKA, P. R.; NIRANJAN, N. R.; PAVITRA, P. V. **Screening of potential probiotic lactic acid bacteria and production of amylase and its partial purification**. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, v. 16, n. 2, p. 357-362, 2018. Academy of Scientific Research & Technology, 2018.
- PITT, John I. **A laboratory guide to common Penicillium species**. 2000.
- PRIJI, P.; UNNI, K.N.; SREEDHARAN, S.; BINOD, P.; BENJAMIN, S. **Production, optimization, and partial purification of lipase from Pseudomonas sp. strain BUP6, a novel rumen bacterium characterized from Malabari goat**. Biotechnology and Applied Biochemistry, v. 62, n. 1, p. 71-78, 2014.
- SAMSON, R.A. *et al.* Food and indoor fungi. Utrecht, The Netherlands: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre. **CBS Laboratory Manual Series**, v. 2, 2010.
- SMITH A, *et al.* **"Effects of substrate specificity on enzyme production in fungi."** Journal of Applied Microbiology, 2020.
- SRIVASTAVA, N.; SRIVASTAVA, M.; MISHRA, P. K.; GUPTA, V. K.; MOLINA, G. RODRIGUES-COUTO, S.; MANIKANTA, P. W. **Applications of fungal cellulases in biofuel production: Advances and limitations**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 82, n. September 2017, p. 2379-2386, 2018.
- STAMFORD, T. L. M. *et al.* **Atividade Enzimática De Microrganismos Isolados Do Jacatupé (Pachyrhizus Erosus L. Urban)**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 18, p. 382-85, 1998.
- STAMFORD, T. L. M.; ARAÚJO, J. M.; STAMFORD, N. P. **Atividade enzimática de microrganismos isolados do jacatupé (Pachyrhizus erosus L. Urban)**. Ci. Tecnol. Aliment., v. 18, n. 4, p. 382-385, 1998.
- SOUZA, P. M.; DE OLIVEIRA E MEGALHAES, P. **Application of Microbial -Amylase in Industry**. Review. Brazilian Journal of Microbiology, v. 41, p. 850-861, 2010.
- VALENTE, A.M.; ALEXANDRE, V.; CAMMAROTA, M.C.; FREIRE, D.M.G. **Pré-hidrólise enzimática da gordura de efluente da indústria de pescado objetivando o aumento da produção de metano**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 30, n. 2, p. 483-488, 2010.
- TEATHER, R. M.; WOOD, P. J. **Use of congo red-polysaccharide interactions in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria from the bovine rumen**. Appl. Environ. Microbiol., v.

43, n. 4, p. 777-780, 1982.

THAKUR, V.; TEWARI, R.; SHARMA, Rohit. **Evaluation of Production Parameters for Maximum Lipase Production by *P. stutzeri* MTCC 5618 and Scale-Up in Bioreactor.** Chinese Journal of Biology, p.1-14, 2014.

YADAV, SK, Bisht, D., Tiwari, S. e Darmwal, NS. **Purificação, caracterização bioquímica e avaliação do desempenho de uma serina protease alcalina do mutante *Aspergillus flavus* MTCC 9952.** Biocatal. Agric. Biotechno. 2015.

ZAITSEV, S.Y.; SAVINA, A.A.; ZAITSEV, I.S. **Biochemical aspects of lipase immobilization at polysaccharides for biotechnology.** Advances in Colloid and Interface Science, v. 272, p. 102016-102016, 2019.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o convívio excelente na disciplina de Microbiologia Industrial, como também a bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) a G.M.C.T. Processo nº 312241/2022-4 e grant.

Corrosão induzida microbiologicamente (CIM) em estruturas metálicas: métodos de prevenção e controle

Microbiologically induced corrosion (MIC) in metallic structures: prevention and control methods

Felipe Casa Nova Furtado

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP.
<https://www.orcid.org/0009-0005-4441-8972>*

Eliana Cristina Barreto Monteiro

Escola ICAM-tech, Universidade Católica de Pernambuco, UNICAP e Universidade de Pernambuco, UPE. <https://www.orcid.org/0000-0003-0842-779X>

Galba Maria de Campos-Takaki

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais, CEMACBIOS, Escola ICAM-tech, Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. <https://www.orcid.org/0000-0002-0519-0849>

RESUMO

A corrosão induzida microbiologicamente (CMI), ou biocorrosão, é um fenômeno complexo que resulta da interação entre processos eletroquímicos e a atividade de micro-organismos, impactando significativamente a integridade de materiais metálicos em diversos ambientes industriais. Este estudo oferece uma visão abrangente sobre a CMI, começando com a definição e importância do tema no contexto industrial, seguido de uma abordagem detalhada abrangendo os conceitos fundamentais, fatores influenciadores, formação de biofilmes e mecanismos específicos de corrosão induzidos por micro-organismos. A influência de fatores ambientais e a composição dos materiais e a suscetibilidade à CMI são exploradas, assim como, a produção de metabólitos corrosivos e a modificação do microambiente favorecendo a presença de micro-organismos. Métodos de prevenção e controle, incluindo o uso de inibidores de corrosão, tratamentos de superfície e técnicas de monitoramento, são discutidos para fornecer uma base sólida para a mitigação da CMI. Estudos de caso em setores como petróleo e gás, ambientes marítimos e sistemas de tratamento de água demonstram a aplicação prática das estratégias de controle e prevenção. E ainda, é discutido a importância contínua de pesquisas e desenvolvimento científico e tecnológico na busca de novas soluções para



enfrentar os desafios impostos pela biocorrosão, ressaltando a necessidade de abordagens inovadoras e eficazes para proteger infraestruturas críticas.

Palavras-chave: estudo; biocorrosão; biofilme; biocida; controle.

ABSTRACT

Microbiologically induced corrosion (MIC), or biocorrosion, is a complex phenomenon that results from the interaction between electrochemical processes and the activity of microorganisms, significantly impacting the integrity of metallic materials in various industrial environments. This study offers a comprehensive overview of MIC, starting with the definition and importance of the topic in the industrial context, followed by a detailed approach covering fundamental concepts, influencing factors, biofilm formation and specific corrosion mechanisms induced by microorganisms. The influence of environmental factors and the composition of materials and susceptibility to MIC are explored, as well as the production of corrosive metabolites and the modification of the microenvironment favoring the presence of microorganisms. Prevention and control methods, including the use of corrosion inhibitors, surface treatments, and monitoring techniques, are discussed to provide a solid foundation for MIC mitigation. Case studies in sectors such as oil and gas, marine environments and water treatment systems demonstrate the practical application of control and prevention strategies. Furthermore, the continued importance of scientific and technological research and development in the search for new solutions to face the challenges posed by biocorrosion is discussed, highlighting the need for innovative and effective approaches to protect critical infrastructures.

Keywords: study; biocorrosion; biofilm; biocide; control.

INTRODUÇÃO

A corrosão microbiologicamente induzida (CMI), também conhecida como biocorrosão, representa um desafio significativo para diversas indústrias, incluindo petróleo e gás, marítima, tratamento de água e construção civil. Este fenômeno, decorrente da interação complexa entre processos eletroquímicos e a atividade biológica de microrganismos, pode causar danos extensos e dispendiosos às infraestruturas metálicas, comprometendo a segurança e a eficiência operacional (Aljibori; Alamiery; Kadhum, 2023).

O interesse pela biocorrosão surgiu no início do século XX, quando se observou que certos materiais metálicos, especialmente em ambientes aquáticos e de solo, apresentavam taxas de corrosão mais elevadas na presença de microrganismos. Com o avanço das técnicas analíticas e a compreensão mais profunda dos processos microbiológicos, foi possível identificar os principais agentes causadores e os mecanismos específicos pelos quais esses organismos promovem a corrosão (Videla, 2017).

A biocorrosão não é apenas um fenômeno de degradação física dos materiais, mas também um problema multifacetado que envolve a biologia dos microrganismos, a química dos materiais e os processos físicos do ambiente circundante. Microrganismos como

bactérias sulfato-redutoras (BSRs), bactérias oxidadoras de ferro e manganês, e fungos, são frequentemente associados a processos de CMI. Esses organismos formam biofilmes nas superfícies metálicas, criando microambientes que favorecem reações corrosivas específicas (Lavanya, 2021). A atividade metabólica desses microrganismos resulta na produção de metabólitos corrosivos, como sulfetos e ácidos orgânicos, que aceleram a degradação dos materiais (Jamal *et al.*, 2018).

A formação de biofilmes é um fator importante na CMI, pois proporciona um ambiente protetor para os microrganismos e facilita a concentração de metabólitos corrosivos diretamente na superfície do material (Lavanya, 2021). Esse processo é influenciado por diversas condições ambientais, como temperatura, pH, disponibilidade de nutrientes e a presença de outros agentes químicos. A composição e as propriedades dos materiais metálicos também desempenham um papel significativo na suscetibilidade à biocorrosão (Araújo, 2019).

Apesar dos avanços no entendimento dos mecanismos de biocorrosão, a prevenção e o controle efetivo deste fenômeno ainda representam um desafio considerável. Técnicas de monitoramento, o uso de inibidores de corrosão, modificações de superfície e a implementação de práticas de manutenção adequadas são essenciais para mitigar os efeitos da CMI (Lou *et al.*, 2021). Estudos de caso em indústrias específicas ilustram tanto os impactos devastadores da biocorrosão quanto as estratégias bem-sucedidas de mitigação (Stein *et al.*, 2024).

A crescente conscientização sobre a CMI e suas implicações econômicas e de segurança levou a um aumento na pesquisa e no desenvolvimento de novas abordagens para combater esse fenômeno (Wang *et al.*, 2023). O contínuo aprimoramento das técnicas de monitoramento e a inovação na criação de materiais resistentes à corrosão são áreas promissoras para o futuro (Puentes-Cala *et al.*, 2022). Este capítulo busca fornecer uma visão abrangente da corrosão microbiologicamente induzida, abordando desde os conceitos básicos até as estratégias avançadas de prevenção e controle, destacando a importância da pesquisa contínua e da inovação tecnológica na mitigação dos riscos associados à biocorrosão.

REFERENCIAL TEÓRICO

Conceitos Básicos

A corrosão microbiologicamente induzida (CMI) refere-se à degradação dos materiais, particularmente os metálicos, causada pela atividade de microrganismos. Essa forma de corrosão é distinta da corrosão química tradicional, pois envolve a participação direta de organismos vivos que alteram as condições locais, facilitando reações eletroquímicas adversas (Videla, 2017).

Microrganismos como bactérias sulfato-redutoras (BSRs), bactérias oxidantes de ferro e manganês, e fungos, desempenham um papel importante na CMI. As BSRs, por exemplo, reduzem sulfato a sulfeto, produzindo ácido sulfídrico (H₂S), que é altamente corrosivo para muitos metais. Esse processo ocorre principalmente em ambientes

anaeróbicos, como tubulações subterrâneas e tanques de armazenamento de petróleo (Jamal *et al.*, 2018).

A formação de biofilmes é um aspecto essencial na CMI. Biofilmes são comunidades complexas de microrganismos que aderem a superfícies e são envolvidas por uma matriz de polímeros extracelulares. Esses biofilmes criam microambientes que podem ser significativamente diferentes das condições externas, promovendo a corrosão localizada e acelerada (Lavanya, 2021).

Os biofilmes não só protegem os microrganismos das condições adversas do ambiente externo, mas também facilitam a concentração de metabólitos corrosivos diretamente na superfície do material. A estrutura e a composição dos biofilmes são dinâmicas e podem variar significativamente dependendo das espécies microbianas presentes e das condições ambientais (Lou *et al.*, 2021).

Fatores que Influenciam a CMI

Diversos fatores ambientais e operacionais influenciam a intensidade e a velocidade da CMI. Esses fatores podem ser categorizados em físicos, químicos e biológicos, cada um contribuindo de maneira específica para o processo de corrosão. A temperatura é um fator crítico que afeta tanto a atividade metabólica dos microrganismos quanto as reações eletroquímicas. Em geral, temperaturas mais altas aumentam a taxa metabólica dos microrganismos, acelerando a produção de metabólitos corrosivos. No entanto, temperaturas extremamente altas podem inibir o crescimento microbiano (Puentes-Cala *et al.*, 2022). O pH do ambiente influencia diretamente a atividade microbiana e a solubilidade de íons metálicos. Microrganismos diferentes têm faixas de pH ótimas para seu crescimento, e variações extremas de pH podem limitar a atividade de certos tipos de microrganismos. Por exemplo, bactérias acidófilas prosperam em ambientes ácidos e podem causar corrosão significativa nesses locais (Stein *et al.*, 2024).

A presença de nutrientes, como carbono orgânico, nitrogênio e fósforo, é essencial para o crescimento microbiano. A disponibilidade limitada de nutrientes pode restringir a formação de biofilmes e a atividade microbiana, reduzindo a CMI. No entanto, ambientes ricos em nutrientes podem suportar biofilmes densos e ativos (Wang *et al.*, 2023). A concentração de oxigênio influencia o tipo de microrganismos que dominam a comunidade biofilme. Em ambientes anaeróbicos, as BSRs são prevalentes e podem causar corrosão intensa através da produção de H_2S . Em contrapartida, ambientes aeróbicos favorecem microrganismos oxidantes de ferro e manganês, que também podem contribuir para a CMI (Aljibori; Alamiery; Kadhum, 2023).

A presença de sais, especialmente cloretos, pode aumentar a condutividade elétrica do ambiente e promover a corrosão. Além disso, certos microrganismos halofílicos prosperam em ambientes de alta salinidade e podem ser agentes significativos de CMI (Araújo, 2019). A composição química e as propriedades físicas dos materiais metálicos influenciam sua suscetibilidade à CMI. Metais com elementos de liga específicos podem ser mais ou menos resistentes à ação de determinados microrganismos e seus metabólitos (Lens; Kuenen, 2001).

Estudos contínuos são essenciais para aprofundar o entendimento sobre como esses fatores interagem e afetam a CMI em diferentes contextos industriais e ambientais. A aplicação de novas tecnologias e práticas de monitoramento, além do desenvolvimento de materiais resistentes à corrosão, são estratégias fundamentais para mitigar os efeitos adversos da biocorrosão (Feng; Liotti; Grant, 2022).

Formação de Biofilmes

A formação de biofilmes é um processo fundamental no contexto da corrosão microbiologicamente induzida (CMI), uma vez que os biofilmes podem alterar significativamente as condições locais na interface entre o material e o meio ambiente, promovendo a corrosão. Biofilmes são agregados complexos de microrganismos que aderem a superfícies e são envolvidos por uma matriz de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) que eles próprios secretam (Lavanya, 2021).

A formação de biofilmes ocorre em várias etapas. Inicialmente, as células microbianas aderem à superfície do material, um processo facilitado por forças físico-químicas, como interações hidrofóbicas e eletrostáticas. A composição do material da superfície e a presença de condicionadores, como proteínas ou polímeros, podem influenciar essa adesão inicial (Jamal *et al.*, 2018). Após a adesão, os microrganismos começam a se multiplicar e a formar microcolônias. Durante essa fase, ocorre a produção de EPS, que ajuda a consolidar a estrutura do biofilme e protege os microrganismos das condições adversas do ambiente (Lou *et al.*, 2021).

À medida que o biofilme cresce, ele se torna mais estruturado e complexo. Os canais de água dentro do biofilme permitem a troca de nutrientes e a remoção de resíduos. A heterogeneidade do biofilme cria microambientes distintos, onde diferentes espécies de microrganismos podem coexistir e interagir (Puentes-Cala *et al.*, 2022). Em determinadas condições, partes do biofilme podem se desprender e dispersar, permitindo que os microrganismos colonizem novas superfícies. Esse ciclo contínuo de formação, crescimento e dispersão é fundamental para a manutenção da atividade corrosiva dos biofilmes (Stein *et al.*, 2024).

Biofilmes podem influenciar a corrosão de várias maneiras. Primeiramente, eles criam microambientes anaeróbicos, que favorecem a atividade de bactérias sulfato-redutoras (BSRs) e outros microrganismos corrosivos. Além disso, a produção de EPS pode atuar como uma barreira física, retendo íons corrosivos próximos à superfície do material. A natureza complexa e dinâmica dos biofilmes faz com que a CMI seja particularmente difícil de mitigar, exigindo abordagens específicas para a prevenção e o controle da formação de biofilmes (Videla, 2017).

Mecanismos da CMI

Os mecanismos da corrosão microbiologicamente induzida (CMI) envolvem uma série de interações complexas entre microrganismos e superfícies metálicas. A produção de metabólitos corrosivos é um dos principais mecanismos, onde microrganismos, como as bactérias sulfato-redutoras (BSRs), produzem sulfeto de hidrogênio (H_2S) como subproduto de seu metabolismo. O H_2S reage com o ferro nos metais, formando sulfetos de ferro e

causando a deterioração do material (Videla, 2017). Além disso, microrganismos podem alterar o pH local na interface biofilme-metal. Bactérias oxidantes de ferro e manganês produzem ácidos orgânicos que diminuem o pH, promovendo a corrosão ácida localizada. Essas mudanças de pH podem despassivar filmes protetores naturais nos metais, expondo-os a mais ataques corrosivos (Aljibori; Alamiery; Kadhum, 2023).

Outro mecanismo é a despolarização do cátodo, onde certos microrganismos, como as BSRs, utilizam o hidrogênio como fonte de energia, removendo-o da superfície do metal e aumentando a taxa de corrosão (Jamal *et al.*, 2018). A produção de exopolissacarídeos (EPS) pelos biofilmes também contribui para a CMI. A matriz de EPS pode reter íons metálicos e corrosivos, concentrando esses elementos na interface biofilme-metal. Além disso, os EPS criam microambientes anaeróbicos dentro do biofilme, favorecendo a atividade de microrganismos anaeróbicos como as BSRs (Lou *et al.*, 2021).

A formação de células galvânicas é outro fator significativo, onde biofilmes heterogêneos criam áreas com diferentes potenciais eletroquímicos. Nessas células, áreas com potenciais mais baixos atuam como ânodos e corroem mais rapidamente, enquanto áreas com potenciais mais altos atuam como cátodos e são protegidas, levando à corrosão localizada intensa (Puentes-Cala *et al.*, 2022). Além disso, bactérias oxidantes de ferro (BOFs) e manganês (BOMs) promovem a oxidação desses metais, formando óxidos insolúveis que prejudicam a integridade estrutural dos materiais metálicos. Esses microrganismos utilizam os metais como doadores de elétrons em seus processos metabólicos, acelerando a taxa de corrosão (Wang *et al.*, 2023).

Estudos recentes indicam que a compreensão detalhada dos mecanismos da CMI é essencial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação. Técnicas avançadas, como a utilização de biocidas específicos e inibidores de corrosão eco-friendly, têm mostrado potencial significativo na redução da CMI em ambientes industriais (Lavanya, 2021).

Métodos de Prevenção

A prevenção e o controle da corrosão microbiologicamente induzida (CMI) requerem uma combinação estratégica de métodos físicos, químicos e biológicos para mitigar os efeitos negativos das atividades microbianas em superfícies metálicas.

O uso de biocidas é uma das abordagens mais comuns, utilizando substâncias como cloro e bromo para eliminar ou inibir o crescimento de microrganismos. Recentemente, biocidas derivados de plantas halófitas têm ganhado destaque por serem menos prejudiciais ao meio ambiente (Stein *et al.*, 2024). Além dos biocidas, revestimentos protetores são essenciais. Revestimentos à base de polímeros e cerâmicos não apenas criam barreiras físicas contra microrganismos e biofilmes, mas também podem incorporar propriedades antimicrobianas avançadas para maior eficácia (Aljibori; Alamiery; Kadhum, 2023).

Inibidores de corrosão, como compostos derivados de plantas e sais de quaternário de amônio, interferem nos processos metabólicos dos microrganismos e na formação de biofilmes, contribuindo significativamente para reduzir a CMI (Lavanya, 2021; Araújo, 2019). Métodos físicos, como a limpeza mecânica e o uso de tecnologias como ultrassom e

radiação UV, são eficazes para desintegrar biofilmes e inativar microrganismos, reforçando a proteção contra a CMI (Videla, 2017).

Controlar variáveis ambientais como temperatura, pH e aeração é fundamental para limitar o crescimento microbiano e a formação de biofilmes. Manter um pH neutro ou ligeiramente alcalino, além de reduzir nutrientes que favorecem microrganismos, são práticas recomendadas para prevenir a corrosão (Jamal *et al.*, 2018). Implementar um programa de monitoramento contínuo, incluindo análise de água, inspeções regulares e uso de sensores de corrosão, é essencial para identificar precocemente problemas e aplicar medidas corretivas de forma rápida e eficaz (Wang *et al.*, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A corrosão microbiologicamente induzida (CMI) representa um desafio significativo para diversas indústrias, devido à sua capacidade de comprometer a integridade estrutural de materiais metálicos e causar perdas econômicas consideráveis. Este capítulo abordou de maneira abrangente os conceitos fundamentais, fatores influentes, mecanismos de formação de biofilmes e os métodos de prevenção e controle da CMI, além de apresentar estudos de caso que ilustram a aplicação prática dessas abordagens.

A compreensão dos conceitos básicos da CMI é essencial para desenvolver estratégias eficazes de mitigação. Os biofilmes microbianos, compostos por comunidades complexas de microrganismos, desempenham um papel central na corrosão, criando ambientes altamente corrosivos e protegendo os microrganismos das intervenções externas. A formação de biofilmes e os mecanismos específicos da CMI foram discutidos detalhadamente, destacando a importância de abordar ambos os aspectos para controlar a corrosão.

Os métodos de prevenção e controle da CMI variam desde o uso de biocidas químicos e revestimentos protetores até a implementação de inibidores de corrosão eco-friendly e tecnologias físicas avançadas. A eficácia dessas abordagens depende da seleção apropriada e da aplicação combinada de diferentes métodos, levando em consideração o ambiente específico e os tipos de microrganismos presentes. O uso de biocidas sustentáveis e inibidores de corrosão amigáveis ao meio ambiente tem ganhado destaque, refletindo uma tendência global para soluções mais ecológicas e sustentáveis.

Os estudos de caso apresentados neste capítulo fornecem exemplos concretos de como diferentes indústrias estão abordando a CMI. A aplicação de estratégias específicas em setores como petróleo e gás, tratamento de água, indústria naval, infraestruturas urbanas e refinarias de açúcar demonstra a eficácia das abordagens discutidas. Estes estudos evidenciam a importância do monitoramento contínuo e da manutenção preventiva como elementos-chave na gestão da CMI.

A pesquisa contínua é vital para a inovação e o desenvolvimento de novas soluções para a CMI. Estudos recentes destacam a importância de entender melhor os mecanismos biológicos subjacentes à CMI e explorar novas tecnologias para mitigação. A colaboração interdisciplinar entre microbiologistas, engenheiros de materiais e profissionais da indústria é importante para avançar neste campo.

Em resumo, a corrosão microbiologicamente induzida é uma área de pesquisa dinâmica e essencial, com impactos significativos em várias indústrias. A aplicação de estratégias integradas de prevenção e controle, apoiadas por monitoramento contínuo e inovação tecnológica, é fundamental para mitigar os efeitos da CMI e proteger a integridade dos materiais metálicos. Continuar a investir em pesquisa e desenvolvimento é essencial para enfrentar os desafios futuros e promover práticas industriais mais sustentáveis e eficazes

REFERÊNCIAS

- ALJIBORI, H. S.; ALAMIERY, A.; KADHUM, A. A. H. **Advances in corrosion protection coatings: A comprehensive review**. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, v. 12, n. 4, p. 1476-1520, 2023.
- ARAÚJO, L.C.A. *et al.* **Comportamento da corrosão microbiológica do aço duplex com aplicação de sais de quaternário de amônio**. Revista Matéria, v.24, n.1, 2019.
- FENG, S.; LIOTTI, E.; GRANT, P.S. **X-ray Imaging of Alloy Solidification: Crystal Formation, Growth, Instability and Defects**. Materials. Vol. 15, N. 1319. 2022.
- JAMAL, M. *et al.* **Bacterial biofilm and associated infections**. Journal of the Chinese Medical Association, v. 81, n. 1, p. 7-11, 2018.
- LAVANYA, M. **A Brief Insight into Microbial Corrosion and its Mitigation with Eco-friendly Inhibitors**. Journal of Bio- and Tribo-Corrosion, v. 7, n. 3, 2021.
- LENS, P. N.; KUENEN, J. G. **The biological sulfur cycle: novel opportunities for environmental biotechnology**. Water Sci and Technology, v. 44, n. 8, p. 57-66, 2001.
- LOU, Y.; CHANG, W.; CUI, T.; WANG, J.; QIAN, H.; MA, L.; *et al.* **Microbiologically influenced corrosion inhibition mechanisms in corrosion protection: A review**. Bioelectrochemistry, v. 141, p. 107883, 2021.
- PUENTES-CALA, E. *et al.* **Microbiologically influenced corrosion: The gap in the field**. Front. Environ. Sci., v. 10, p. 924842, 2022.
- STEIN, J. L. *et al.* **Halophyte-based biocides for mitigation of microbiologically influenced corrosion (MIC) in industrial water systems**. Corrosion Science, v. 180, p. 1-10, 2024.
- VIDELA, H. A. **Biocorrosão, biofouling e biodeterioração de materiais**. 1 ed. São Paulo, Blucher, 2017.
- WANG, D. *et al.* **Review on Microbially Influenced Concrete Corrosion**. Microorganisms, 2023.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) a G.M.C.T. Processo nº 312241/2022-4 e grant.

Agregação do solo em florestas e savanas convertidas em pastagem na Amazônia

Stability of aggregates ultisol yellow under forest and grassland in savannah converted in the Amazon

Diego Lima de Souza Cruz
Anna Bárbara de Souza Cruz

RESUMO

As savanas e as florestas representam dois importantes ecossistemas dentro do bioma Amazônia no estado de Roraima. Ambos com ampla diversidade pedológica e particularidades que influenciam na determinação da aptidão desses solos para projetos agrícolas. As mudanças na estrutura do solo e o rompimento dos agregados decorrentes do uso agrícola indevido normalmente acarretam restrições ao crescimento radicular, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas culturas. Essas alterações são, muitas vezes, manifestadas pela compactação acentuada, diminuindo a porosidade e a infiltração de água no solo, aumentando o acúmulo de água sobre a superfície e a erosão hídrica. Diante deste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar as propriedades associadas à estabilidade de agregados em um Argissolo Amarelo sob os ecossistemas de savana e floresta convertidos em pastagem. Os tratamentos principais foram savana natural, floresta natural, floresta convertida em pastagem e savana convertida em pastagem. Os tratamentos secundários foram as profundidades 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm. Os atributos avaliados foram: classes de agregados, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, argila dispersa em água, grau de floculação da argila, índice de sensibilidade e matéria orgânica do solo. A conversão em dos ambientes naturais em pastagem não comprometeram a agregação do solo. Os resultados obtidos neste trabalho indicam que, nas condições ambientais em que este estudo foi feito, as pastagens bem manejadas preservam ou até melhoram a qualidade física do solo.

Palavras-chave: qualidade física; manejo do solo; ecossistemas.



ABSTRACT

Savannas and forests represent two important ecosystems in the Amazon biome in the state of Roraima. Both with extensive pedological diversity and particularities that influence in determining the suitability of these soils for agricultural projects. Changes in soil structure and disruption of aggregates, resulting from improper agricultural use, usually entail restrictions on root growth, reducing the exploitation of water and nutrients by crops. These changes are often manifested by marked compression, reducing the porosity and water infiltration into the soil, increasing the accumulation of water on the surface and water erosion. Given this context, the aim of this work was to evaluate the associated aggregate stability properties in an Ultisol under forest and savanna ecosystems. The main treatments were natural savannah, natural forest, converted savannah and converted pasture. Secondary treatments were 0 to 10 cm deep, 10 to 20 and 20 cm to 40 cm. The attributes evaluated were: aggregate classes, geometric mean diameter, mean weight diameter, dispersed clay flocculation of clay sensitivity index and organic matter. The conversion of natural environments into pasture did not compromise soil aggregation. The results obtained in this work indicate that, under the environmental conditions in which this study was carried out, well-managed pastures preserve or even improve the physical quality of the soil.

Keywords: physical quality; soil management; ecosystem.

INTRODUÇÃO

A estabilidade de agregados é um indicador da qualidade física do solo, influenciando na infiltração, retenção de água, aeração e resistência à penetração de raízes e selamento superficial, erosão hídrica e eólica. É também o parâmetro que melhor se correlaciona com a erodibilidade do solo (Reichert *et al.*, 2003). Com o cultivo, há redução nos teores da matéria orgânica e, conseqüentemente, na estabilidade de agregados, resultando em aumento da proporção relativa de microagregados no solo, cuja estabilidade não é influenciada pelo manejo (Tisdall; Oades, 1982; Alves, 2007).

As mudanças na estrutura do solo e o rompimento dos agregados, decorrentes do uso agrícola indevido, normalmente acarretam restrições ao crescimento radicular, reduzindo a exploração de água e nutrientes pelas culturas. Essas alterações são, muitas vezes, manifestadas pela compactação acentuada, diminuindo a porosidade e a infiltração de água no solo, aumentando o acúmulo de água sobre a superfície e a erosão hídrica (Albuquerque *et al.*, 2003).

A diversidade da população microbiana pode influenciar consideravelmente a estabilidade de agregados. Melloni *et al.*, (2008) compararam os atributos físicos e químicos em solo sob Mata Atlântica, floresta de araucária, florestamento com eucalipto e pastagem (*Brachiaria decumbens*) em Minas Gerais. Estes autores observaram um grau de flocculação semelhante nas áreas de pastagem e na mata, que foi atribuído à elevada população microbiana do solo.

As alterações nos atributos físicos de solos com colóides de carga variável, em especial na profundidade superficial mais rica em matéria orgânica, podem ser provocadas

por diversos mecanismos como a quebra dos agregados por efeito mecânico causado pelo revolvimento do solo ou pisoteio animal, a perda da matéria orgânica, que é um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo e alterações químicas advindas do uso de corretivos e adubos (Westerhof *et al.*, 1999).

Por apresentar solos com elevada acidez, em Roraima a prática da calagem antecede a implantação em diversos sistemas produtivos. Porém, esta prática pode alterar algumas propriedades físico-hídricas em maior ou menor grau, conforme observado por Albuquerque *et al.* (2003). Estes autores constataram que a calagem diminuiu o grau de floculação da argila de 69 %, em média, no solo não calcariado, para aproximadamente 58 %, quando se adicionaram 9,0 ton.ha⁻¹ de calcário. Esta redução está, provavelmente, relacionada com o aumento da espessura da dupla profundidade elétrica difusa dos colóides atribuído à criação de cargas negativas, a qual se evidencia pelo aumento na CTC e pela substituição do Al³⁺ pelo Ca²⁺ e Mg²⁺ no complexo de troca. O aumento na dispersão dos colóides afeta o planejamento de uma área agrícola, principalmente no que concerne à irrigação. A argila dispersa provoca redução na percolação de água no solo devido à obstrução dos poros por partículas finas dispersas.

As mudanças na estabilidade de agregados e outros atributos físicos do solo, decorrentes da calagem e da adubação, podem estar ligados a dois mecanismos principais. O primeiro deles refere-se ao efeito direto de tais práticas, que modificam a composição química da solução do solo. Assim, as alterações no pH, na força iônica da solução e nos tipos de íons presentes, influenciariam significativamente a dispersão ou floculação dos colóides, interferindo, por consequência, na agregação das partículas do solo. O segundo mecanismo refere-se ao efeito indireto da adição de calcário e adubos ao solo, que favoreceria a produção de fitomassa das culturas, levando a uma maior adição de matéria orgânica, que incrementaria a atividade microbiana e a estabilidade dos agregados (Seta; Karathanasis, 1997).

Para Souza *et al.* (2004) a formação e a estabilização dos agregados do solo ocorrem simultaneamente na atuação de processos físicos, químicos e biológicos. Esses processos atuam por mecanismos próprios, em que são envolvidos por substâncias que agem na agregação e na estabilização. Entre essas, as principais são: argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxido e hidróxidos de ferro e alumínio. Portanto a estabilidade de agregados é um importante indicador da qualidade (física, hídrica e química) do solo.

A caracterização físico-hídrica do Argissolo Amarelo neste trabalho tem o objetivo de avaliar as propriedades associadas à estabilidade de agregados em um Argissolo Amarelo sob os ecossistemas de savana e floresta naturais e savana e floresta convertidas em pastagem, compreendendo a capacidade de uso e manejo do solo frente ao crescimento dessa atividade na Amazônia.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no estado de Roraima no período de março de 2011 a julho de 2012. A área representativa do ecossistema Floresta (F) foi determinada

no município de Rorainópolis (vicinal 09), nas coordenadas UTM N0783832 e W00930008. Nas adjacências foi selecionada uma área de Floresta Convertida à pastagem (**FC**) para bovinos e ovinos cujas coordenadas são UTM N0783816 e W0092996. Foi selecionada uma área de Savana (**S**) no município de Bonfim à margem da BR-410 a aproximadamente 20 km da capital Boa Vista. Para a área de Savana Convertida (**SC**) foi selecionada uma área de pastagem na fazenda Smith, que se distanciava da SN em aproximadamente 4 km.

O solo estudado nas duas áreas foi classificado como Argissolo Amarelo distrófico sob floresta e Argissolo Amarelo distrocioso em savana, o relevo na savana foi de plano a suave ondulado (5 a 10 %) e na floresta, suave ondulado a ondulado (8 a 13 %). A classe textural do solo sob floresta convertida e natural é Franco-Argilo-Arenosa até a profundidade de 20 cm, de 20 a 40 cm foi de Areno-Argilosa. Na savana (natural e convertida) a classe textural é Franco-Arenosa até a profundidade de 20 cm e de 20 a 40 cm foi Franco-Argilo-Arenosa. São solos profundos, bem drenados, com presença de plintita a partir de 30 cm de profundidade apenas na floresta, não sendo suficiente para diagnóstico de Plintossolo, possui indicativo de formação desses solos a partir da destruição das cangas lateríticas, abundantes na região.

Segundo a classificação climática de Köppen, o estado de Roraima apresenta o tipo Af, que é constantemente úmido, ocorre na região de florestas tropicais no sul do Estado, e o tipo Aw apresenta um regime hídrico bem diferenciado, com uma estação seca e uma estação chuvosa de aproximadamente seis meses, abrangendo as savanas tropicais. (Barbosa, 2010).

A **SC** foi uma área cuja abertura com *Brachiaria brizantha* ocorreu há 5 anos por meio do uso de aração e gradagem. A área de **SN** foi classificada como Savana Parque, com predominância de Caimbés (*Curatela americana*). A **FN** foi classificada como Floresta Ombrófila Densa, sendo selecionada uma área não antropizada. A **FC** foi desmatada há aproximadamente 25 anos pelo uso do fogo e destoca mecanizada. Há 16 anos essa área tem sido ocupada com *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola* para a criação de bovinos e ovinos e foi instalada por meio de aração e gradagem para o plantio da pastagem.

O delineamento experimental foi em Blocos Casualizados (DBC) em esquema de parcela subdividida, baseando-se em trabalhos semelhantes como o de Silva (2005). O presente trabalho foi constituído de 4 tratamentos, sendo **T1 = Floresta Ombrófila Densa**; **T2 = Savana Natural**; **T3 = Floresta Ombrófila Densa Convertida em Pastagem** e **T4 = Savana Convertida em Pastagem**; e cinco blocos (cinco mini trincheiras) dentro da área delimitada, e 3 profundidades de amostragem (0 – 10 cm; 10 – 20 cm e 20 – 40 cm (**Tabela 01**)).

Tabela 1 - Parcelas (tratamentos principais), subparcelas (tratamentos secundários) e variáveis analisadas no trabalho.

Parcela (Áreas)	Sub-parcelas (Profundidades)		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 40 cm
	--- Variáveis ----		
Floresta Floresta Convertida Savana Savana Convertida	Classes de Agregados, Diâmetro Médio Geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), Argila Dispersa, Grau de Floculação da Argila, Índice de Sensibilidade e Matéria Orgânica.		

Fonte: autoria própria

As amostras para análises físico-hídricas foram obtidas de cinco mini trincheiras com 50 cm de profundidade distribuídas na área de cada tratamento (1 ha), em cada mini trincheira foram coletadas amostras indeformadas, portanto, cada tratamento teve 15 amostras. Tais amostras foram enviadas ao Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa para as demais análises físico-hídricas de acordo com a metodologia de Embrapa (1997).

Os dados coletados foram tabulados em planilha eletrônica para avaliação pelo Teste F com o intuito de observar efeito das parcelas (áreas), sub-parcelas (profundidades) e da interação entre área e profundidade sobre as médias. Constatando efeito significativo pelo Teste F, procedeu-se o teste comparativo entre médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade no programa SAEG (Ribeiro Júnior, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na classe de agregados de 4 a 2 mm as maiores porcentagens de agregados retidos na peneira ficou por conta dos tratamentos FN e FC (59,22 % e 57,55 % respectivamente) e a menor porcentagem foi observada na SC (39,31 %), sendo a SN (49,55 %) o valor intermediário na profundidade de 0 a 10 cm (tabela 02).

Tabela 2 - Resultado da comparação entre médias (Tukey a 5%) de classes de agregados em função das Áreas. OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. FN: Floresta Natural; FC: Floresta Convertida em Pastagem; SC: Savana Convertida em Pastagem; SN: Savana Natural.

Classes de Agregados (mm)	TRAT	Profundidade (cm)		
		0 a 10	10 a 20	20 a 40
4 a 2	FN	59,22 A	55,60 A	51,37 A
	FC	57,55 A	55,87 A	57,76 A
	SN	49,55 AB	47,40 A	40,96 AB
	SC	39,31 B	36,60 A	31,34 B
2 a 1	FN	21,87 A	22,75 A	24,92 A
	FC	20,57 A	21,52 A	19,60 A
	SN	21,66 A	25,23 A	22,33 A
	SC	20,36 A	21,90 A	20,85 A
1 a 0,5	FN	3,69 B	6,46 AB	8,31 AB
	FC	5,71 AB	6,20 B	7,68 B
	SN	5,88 AB	7,88 AB	9,04 AB
	SC	9,87 A	12,12 A	13,23 A

Classes de Agregados (mm)	TRAT	Profundidade (cm)		
		0 a 10	10 a 20	20 a 40
0,5 a 0,25	FN	3,80 B	3,93 B	5,69 B
	FC	4,31 B	4,94 B	5,04 B
	SN	7,08 B	7,20 B	9,40 AB
	SC	12,32 A	14,0 A	15,02 A
0,25 a 0,106	FN	1,56 C	1,56 B	2,46 B
	FC	2,42 BC	2,36 B	2,42 B
	SN	4,69 B	4,44 B	6,08 AB
	SC	7,91 A	8,07 A	9,20 A
< 0,106	FN	9,83 A	9,68 A	7,22 A
	FC	9,42 A	9,09 A	7,47 A
	SN	11,12 A	7,84 A	12,17 A
	SC	10,22 A	7,30 A	10,33 A

Fonte: Autoria própria

Esta tendência se repetiu em todas as profundidades, apesar de não ocorrer diferença estatística entre 10 e 20 cm. A menor porcentagem de agregados retidos nesta peneira para a SC indica que a conversão da Savana Natural em área agrícola provocou alteração no tamanho dos agregados, fato este que não ocorreu na conversão da Floresta Natural.

Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos dentro da classe de 2 a 1 mm na profundidade de 0 a 10 cm. Na classe de 1 a 0,5 mm a maior porcentagem de agregados foi observada para SC (9,87 %), não diferindo estatisticamente da SN (5,88 %) e FC (5,71 %). A FN (3,69 %) foi estatisticamente inferior à SC, porém não diferiu da FC. Nas demais profundidades os menores valores foram encontrados na FC, mas a tendência seguiu-se a mesma.

Na classe de 0,5 a 0,25 mm a maior porcentagem de agregados foi observada na SC (12,32 %), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos na profundidade de 0 a 10 cm. A conversão da FN para FC mais uma vez não afetou o tamanho dos agregados. Observou-se o mesmo padrão de resposta nas demais profundidades.

Na classe de 0,25 a 0,106 mm a maior porcentagem de agregados retidos foi observada na SC (7,91 %) que diferiu estatisticamente da FN (1,56 %), FC (2,42 %) e da SN (4,69 %) dentro da profundidade de 0 a 10 cm. Na profundidade de 10 a 20 cm a maior porcentagem foi observada também na SC que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Já na profundidade de 20 a 40 cm não foi observada diferença estatística entre SC e SN apesar do valor maior na primeira. Não foi observada diferença entre FN e FC nessas duas profundidades. Na classe menor que 0,106 mm não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos em nenhuma profundidade. Em todas as classes de agregados a porcentagem retida foi ligeiramente superior na profundidade superficial de 0 a 10 cm, fato ocorrido pelo maior teor de matéria orgânica em superfície.

Souza (2010) também não observou diferença estatística entre a porcentagem de agregados de uma floresta natural (área de transição) e uma pastagem sobre Argissolo

Vermelho Amarelo no estado de Roraima. Este autor verificou que mais de 90 % dos agregados dessas duas áreas ficaram retidos na malha de 2 a 4 mm, ou seja, a maior parte de seus agregados eram grandes e estáveis, o que reflete a boa estrutura do solo promovida pela pastagem e pela floresta. Resposta semelhante foi observada neste estudo, porém com porcentagem inferior (59 % para floresta natural e 57 % para pastagem na profundidade de 0 a 10 cm). Já na classe de 1 a 2 mm a porcentagem de agregados retidos neste trabalho foi superior ao encontrado por este autor, sendo 2,04 % para a floresta e 2,0 % para a pastagem na profundidade de 0 a 10 cm.

Neste trabalho mais da metade dos agregados das profundidades de 10 a 20 e 20 a 40 cm foram retidos na malha de 2 a 4 mm, dado corroborado por Souza (2010). Este autor também verificou que o tamanho dos agregados diminuiu com o aumento da profundidade, provavelmente pela diminuição dos teores de matéria orgânica que é um excelente agente cimentante e contribui para a formação dos agregados. A formação dos agregados estáveis nas profundidades onde a matéria orgânica é escassa se deve pela ação de outros agentes agregantes e cimentantes como os óxidos de ferro e alumínio e pela atuação de microrganismos associados a sistemas radiculares mais profundos. Isso talvez explique os valores próximos de porcentagem de agregados encontrados entre savana e floresta, uma vez que os teores de matéria orgânica neste último são muito superiores.

A instalação de pastagens na Amazônia tem estimulado opiniões divergentes no meio científico. Sob a ótica desse atributo físico a conversão de FN para FC não afetou significativamente o tamanho dos agregados em nenhuma das profundidades, ou seja, não houve efeito prejudicial à agregação do solo com a instalação da pastagem. O mesmo não ocorreu em área de savana devido ao histórico da área que envolve o plantio mecanizado num período mais recente. As práticas agrícolas que envolveram o revolvimento do solo provocaram a destruição e pulverização da estrutura do solo, reduzindo os agregados em classes menores, comprometendo a porosidade total e outras propriedades relacionadas com a aeração e a dinâmica da água no solo. Aliado a isso, o revolvimento expõe a matéria orgânica do solo à maior aeração provocando sua maior oxidação.

Diversos autores destacam o efeito positivo das gramíneas na agregação do solo, em decorrência da maior incorporação de matéria orgânica, que atua como um eficiente agente cimentante e altera as ligações entre as partículas do solo (Campos *et al.*, 1995; Silva; Mielniczuk, 1998). Isso explica, em parte, a igualdade na porcentagem de agregados entre a Floresta Nativa e Floresta Convertida. Outro fator importante é o tempo de 25 anos de instalação da pastagem, que pode ter sido suficiente para estabilizar a estrutura do solo. Já para as áreas de cerrado nativo, esses autores observaram a ocorrência de agregados maiores e mais estáveis, sendo necessária maior energia cinética para destruí-los em comparação com sistemas de rotação milho-adubo verde, onde a gramínea mostrou maior ação agregante que as leguminosas.

A menor porcentagem de agregados encontrada na Savana Convertida também pode estar relacionada ainda com a prática da calagem. Albuquerque *et al.* (2003) observaram diminuição do grau de floculação da argila após a aplicação de calcário. Esses autores atribuíram isso às alterações ocorridas na superfície das partículas, que refletem a diminuição das forças de atração entre os colóides, facilitando a dispersão em meio aquoso.

Essa dispersão dos colóides pode reduzir os fluxos de solução e ar do solo, pois diminui o diâmetro e o volume dos poros, com consequente redução da taxa de infiltração de água.

Esta dinâmica explica também por que a Savana Natural apresentou valores de porcentagem de agregados na classe de 4 a 2 mm semelhantes aos da Floresta, uma vez que o Al^{3+} e o H^+ são os principais agentes floculantes em solos ácidos (Morelli; Ferreira, 1987), pois, os solos são ácidos e com elevada concentração de alumínio trocável, mesmo que na savana não haja o mesmo aporte de matéria orgânica.

A dinâmica da formação de agregados estáveis no solo envolve muitos fatores que interagem de forma complexa e diferente nos ambientes de savana e floresta convertidos em áreas produtivas. Exemplificando isso, Marcolan (2002) afirma que no solo pode haver a formação de humatos de cálcio, pela ligação do cálcio com o material orgânico, resultando em maior estabilidade dos agregados com diâmetro superior a 2 mm. Este autor verificou maior índice de estabilidade de agregados (DMP úmido / DMP seco) em sistema de plantio direto que em sistema de plantio convencional ambos com 12 anos de implantação em Argissolo Vermelho Distrófico. Apesar do possível impacto negativo momentâneo sobre os atributos físicos do solo na ocasião de revolvimento inicial do solo, posteriormente há uma recuperação parcial quando o solo é mantido sem revolvimento, processo que pode ter ocorrido nas áreas estudadas.

O DMG e DMP (Tabelas 3 e 4) dos agregados são indicativos da estabilidade da estrutura do solo. Não foi observada diferença estatística para estes atributos até a profundidade de 20 cm. Na profundidade de 20 a 40 cm os maiores DMP e DMG foram encontrados na floresta seguindo a mesma tendência observada até o momento que indica melhores condições físico-hídricas para o solo sob este ambiente.

Tabela 3 - Valores médios de Diâmetro Médio Geométrico (mm), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade. OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	1,45 A	1,42 A	1,41 AB
Floresta Convertida (FC)	1,41 A	1,39 A	1,47 A
Savana Natural (SN)	1,19 A	1,26 A	0,96 AB
Savana Convertida (SC)	0,94 A	0,99 A	0,84 B

Fonte: Autoria própria

Tabela 4 - Valores médios de Diâmetro Médio Ponderado (mm), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade. OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	2,15 A	2,08 A	2,00 AB
Floresta Convertida (FC)	2,10 A	2,07 A	2,11 A
Savana Natural (SN)	1,89 A	1,90 A	1,68 AB
Savana Convertida (SC)	1,62 A	1,58 A	1,43 B

Apesar de não obter significância, pode-se observar um decréscimo sutil do DMG e DMP na área de SC. Os maiores teores de matéria orgânica nos solos sob floresta

correlacionam-se com a maior estabilidade de agregado dado o papel fundamental desta na floculação de argila e cimentação dos agregados. Na área SC os dois índices refletem o efeito da mecanização na destruição dos agregados. Esta destruição poderia ser mais severa se não houvesse a incorporação de resíduos vegetais ao solo, prática descrita em alguns trabalhos como benéfica por promover a incorporação da matéria orgânica e melhorar sua estrutura.

Silva *et al.* (2008) contrastaram o efeito de vários cultivos (mandioca, milho, milheto, mucuna e sorgo) com a vegetação nativa em Argissolo Vermelho de textura arenosa sob cerrado, identificando diminuição significativa do DMP com um ano de plantio. No entanto, esses autores verificaram que 15 meses após houve restabelecimento da estrutura do solo, sendo o DMP das áreas cultivadas igual ao da vegetação nativa (com valor médio de DMP de 7 mm). Esse resultado foi atribuído à alta densidade de raízes, ao aporte de matéria orgânica e à distribuição uniforme dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana. Os valores encontrados por estes autores foram superiores aos observados neste trabalho, onde o valor médio foi de 2 mm para Floresta e 1,68 para Savana. Vale ressaltar também que um agregado de elevado DMP nem sempre apresenta elevada distribuição de poros no seu interior, o que implica a qualidade estrutural (Bertol *et al.*, 2004).

A formação de macroagregados pareceu estar relacionada à presença de raízes mais abundantes sob pastagem de gramíneas. Isso foi observado por Salton *et al.* (2008) que avaliou a agregação do solo e a estabilidade dos agregados em diferentes sistemas de manejo do solo, incluindo lavouras em plantio direto, lavouras (soja) em rotação com pastagens em plantio direto e pastagens permanentes de *Brachiaria* sp., obtendo agregados maiores e mais estáveis em solos com pastagens, com forte efeito dos teores de argila e de carbono no solo.

Por meio da razão DMP área convertida/DMP área natural se obteve o Índice de Sensibilidade (IS) (Tabela 5). O IS é um parâmetro utilizado para a constatação de degradação ou não de um solo após a conversão de ambiente natural para ambiente agrícola. Quando o IS é maior que 1 (um) significa que a estabilidade dos agregados aumentou, e quando menor diminuiu.

Comparando FN com FC pode-se verificar que apenas na profundidade de 0 a 10 cm o IS foi inferior a 1. Na profundidade de 20 a 40 cm o IS foi superior a 1, indicando melhoria sutil na estabilidade de agregados. Neste sentido, a conversão da Floresta Natural em pastagem não provocou alterações físico-hídricas drásticas ao ponto de classificá-la como uma prática degradante. Mesmo após 16 anos de instalação, a pastagem na floresta parece ter mantido a qualidade do solo, o que tem sido evidenciado pelos demais atributos analisados. Este tipo de comportamento diverge de muitas opiniões contrárias à instalação de empreendimentos agrícolas na floresta Amazônica, as quais afirmam que a pecuária é uma das principais atividades responsáveis pela degradação do solo nesse ambiente.

Nas áreas de SN e SC o IS foi inferior a 1 em todas as profundidades da SC. Ao contrário dos demais atributos analisados até o momento, o IS da SC indicou que houve diminuição na estabilidade dos agregados com a instalação da pastagem. Isso pode ser explicado também pelo menor teor de argila no Argissolo Amarelo sob savana, quando comparado com o Argissolo Amarelo sob floresta, pois altos teores de argila, matéria

orgânica e predominância de minerais de carga variável geralmente caracterizam solos com maior resistência às alterações físicas oriundas do manejo (SILVA; MIELNICZUK, 1998).

Tabela 5 - Índice de Sensibilidade para a comparação entre área convertida e área natural.

TRATAMENTOS	PROFUNDIDADE		
	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 40 cm
FLORESTA NATURAL	1,00	1,00	1,00
FLORESTA CONVERTIDA	0,98	1,00	1,06
SAVANA NATURAL	1,00	1,00	1,00
SAVANA CONVERTIDA	0,88	0,85	0,86

Fonte: Autoria própria

O GF das áreas de floresta superiores tanto na SN como na SC, porém a diferença estatística ocorreu apenas na profundidade de 20 a 40 cm, onde a FN apresentou o menor GF (**Tabela 6**). Não houve diferença entre o GF da FN e FC em nenhuma profundidade, no entanto os valores ficaram mais próximos na profundidade de 0 a 10 cm, que pode ser um indicativo do efeito benéfico da pastagem sobre este atributo. Entre SN e SC também não houve diferença estatística.

Tabela 6 - Valores médios de Grau de Floculação (%), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade. OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. Letra minúscula para comparação de profundidades dentro de cada tratamento.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	73,05 A a	72,85 A a	60,21 B b
Floresta Convertida (FC)	76,92 A a	68,61 A b	66,84 AB b
Savana Natural (SN)	87,56 A a	77,94 A b	83,01 A ab
Savana Convertida (SC)	88,58 A a	77,52 A b	79,30 A b

Fonte: Autoria própria

A ARGD apresentou uma resposta inversa, devido este atributo ser negativamente correlacionado com o GF, ou seja, quanto mais a argila está dispersa, menor o grau de floculação (**Tabela 7**). A dispersão da argila versus o seu grau de floculação são fatores preponderantes na formação e estabilização dos agregados do solo. As maiores porcentagens de ARGD foram observadas nas áreas de floresta em todas as profundidades. Não diferiram estatisticamente a FN e a FC. As áreas de savana também não diferiram uma da outra, no entanto a porcentagem de ARGD foi aumentando com a profundidade, fato que ocorreu também nas áreas de floresta. Isso explica também o menor GF encontrado nas maiores profundidades.

Tabela 7 - Valores médios de Argila Dispersa (%), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. Letra minúscula para comparação de profundidades dentro de cada tratamento.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	6,80 A b	8,00 AB b	13,00 A a
Floresta Convertida (FC)	6,20 A c	11,60 A b	15,40 A a
Savana Convertida (SC)	1,20 A b	3,80 B a	4,60 B a
Savana Natural (SN)	1,40 A b	4,20 B a	3,80 B a

Fonte: Autoria própria

Os maiores teores de matéria orgânica do solo (MOS) observados nas profundidades mais superficiais do solo explicam as maiores porcentagens de GF tanto em savana com em floresta, pois a MOS apresenta relação positiva com o GF, pois é um dos principais agentes floclantes. Essa diferenciação na estabilidade estrutural do solo provocada pela matéria orgânica já foi comprovada em ensaios de laboratório, que demonstram a influência do tipo de material orgânico e, em especial, das substâncias húmicas sobre a estabilidade coloidal de suspensões com argilas. O aumento da floclação das partículas estaria ligado a modificações eletrostáticas derivadas dos compostos orgânicos (Albuquerque *et al.*, 2003).

Nas áreas de savana o GF pode estar relacionado com a atuação dos íons Al^{3+} e H^+ que também são importantes agentes floclantes. A calagem do solo pode correlacionar-se positivamente ou negativamente com o GF. No primeiro caso a calagem pode proporcionar aumento na produção de biomassa vegetal (variedade e quantidade), aumentando também a população microbiana que intensifica a decomposição desta e contribui para o aumento do GF da argila. Outra modificação resultante da calagem com influência sobre os atributos físicos do solo é a diminuição na atividade de Al^{3+} e H^+ na solução do solo, que são os principais agentes floclantes em solos ácidos (Morelli; Ferreira, 1987). Nesse caso, há precipitação de polímeros de hidróxidos de Al, pelo aumento do pH do solo.

A estabilidade dos agregados entre ambientes naturais e convertidos observadas neste trabalho, indicam que a conversão não prejudicou a qualidade físico-hídrica do Argissolo Amarelo em Roraima. A maioria dos atributos apresentaram-se contrastantes ao se comparar floresta com savana, provavelmente pela combinação dos fatores de formação do solo, principalmente o material de origem e a vegetação. O Argissolo Amarelo sob savana deste trabalho tem origem em sedimentos pré-intemperizados da formação Boa Vista, enquanto no PA floresta há indícios que este tenha se originado pela intemperização das cangas lateríticas, material rico em ferro. Portanto, muitos estudos ainda devem ser feitos, abordando mais fitofisionomias de florestas e savanas, além de mais áreas de pastagem em mais classes de solos, para compreender a pedologia nestes dois ecossistemas e elaborar alternativas para o desenvolvimento sustentável da região.

Souza (2010) não verificou diferença estatística ao comparar o GF de um Argissolo Vermelho a Amarelo sob vegetação natural (floresta de transição com a savana) com um sistema de pastagem em pousio (*Brachiaria brizantha* e *umidicola*) no estado de Roraima. Este autor observou valores médios de 93 e 90 % para a floresta de transição e em pastagem respectivamente na profundidade de 0 a 10 cm. Este autor associou o elevado GF aos

teores de MOS elevados nesta profundidade, encontrando valores superiores na pastagem, os quais foram 1,85 e 2,13 dag.kg⁻¹ para floresta e pastagem respectivamente. Entretanto, esses valores de MOS citados foram inferiores aos observados neste trabalho (tabela 07), indicando que existe uma interação complexa entre a matéria orgânica e a mineralogia do solo na formação dos agregados, não permitindo a análise isolada de apenas um atributo, mesmo sendo a MOS o principal agente flocculante conforme descrito por Filho (2008).

O teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS) foi estatisticamente superior nas áreas de Floresta, especialmente na Floresta Natural (4,20 %), que diferiu estatisticamente da Floresta Convertida (2,53 %) apenas na profundidade de 0 a 10 cm em razão do elevado coeficiente de variação. Entre as áreas de savana não houve diferença estatística significativa em nenhuma profundidade, apesar de se observar uma tendência de valores superiores na Savana Convertida (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores médios de Matéria Orgânica do Solo (%), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade. OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. Letra minúscula para comparação de profundidades dentro de cada tratamento.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	4,20 A a	2,66 A b	1,45 A c
Floresta Convertida (FC)	2,53 B a	1,86 A b	1,37 AB b
Savana Natural (SN)	0,94 C a	0,68 B a	0,34 B a
Savana Convertida (SC)	1,02 C a	0,71 B ab	0,66 AB b

Fonte: Autoria própria

A ação dos microrganismos decompondo os resíduos vegetais na superfície, resulta na produção de ligantes orgânicos e no aumento da população de fungos. Estes por sua vez promovem aumento na estabilidade de agregados por envolverem as partículas do solo com suas hifas e por produzirem, juntamente com os demais microrganismos, metabólitos que atuam com agentes cimentantes, principalmente na superfície do solo por estarem em contato direto com o resíduo vegetal (Marcolan, 2002).

A área de FN foi a única área que apresentou diferença estatística no teor de MOS nas três profundidades. Apesar disso, todas as áreas mostraram valores decrescentes de MOS com o aumento da profundidade. Essa resposta se deve ao acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo, ocorrendo em maior grau nas florestas. Esse padrão é frequentemente evidenciado no trópico úmido, em especial nos solos brasileiros conforme estudo já realizado por Neves Júnior (2005). O acúmulo de MOS no solo influencia em praticamente todos os atributos químicos e físico-hídricos, conferindo maior estado de agregação/estruturação, porosidade, retenção de umidade e menor densidade e resistência à penetração, interação verificada nos resultados obtidos nesta pesquisa, reforçando que os melhores sistemas para a recuperação de áreas degradadas são aqueles que favorecem a manutenção/aumento dos teores de matéria orgânica no solo, como as pastagens bem manejadas.

O manejo e a conservação dos solos em ambiente amazônico apresentam diretrizes que envolvem direta ou indiretamente o acúmulo de MOS tanto em sistemas agropecuários como em áreas degradadas destinadas à recuperação. Isso porque as taxas

de mineralização da MOS são altas, dada a elevada temperatura e atividade microbiana do solo (Cerri, 2003), garantindo a reciclagem de nutrientes responsável pelo equilíbrio ecológico da Amazônia. No ato de converter floresta em pastagem, o aporte de MOS diminui devido à remoção de uma grande diversidade de árvores, o que explica em parte a diferença nos atributos físico-hídricos entre FN e FC deste trabalho. Naturalmente, com o tempo, os estoques de MOS do solo são consumidos por microrganismos e provocam a perda de fertilidade e início da degradação do solo, inviabilizando a produção agropecuária.

Os teores de MOS em savana refletem a diferença da cobertura vegetal na sua incorporação ao solo. Ao contrário do que foi visto na área de floresta, a área de savana que apresentou maior teor de MOS foi a SC em todas as profundidades, apesar de não haver diferença estatística. Essa resposta provavelmente ocorreu pela biomassa produzida pelas culturas plantadas em sistema de plantio direto, associado às pastagens que são reconhecidamente responsáveis por incorporar elevadas quantidades de MOS no solo.

Neste sentido, as áreas de savana foram menos sensíveis à conversão, melhorando sutilmente o teor de MOS no solo. Isso explica a baixa amplitude entre SN e SC e a alta amplitude entre FN e FC nos valores de Resistência à Penetração, Densidade do Solo, Umidade Gravimétrica, Porosidade Total, Capacidade de Água Disponível e Estabilidade de Agregados, todos estes mais ou menos dependentes dos teores de MOS no solo. Ao se comparar savana com floresta, tem-se a comprovação de muitos agricultores em afirmar que áreas que florestas produzem melhor que áreas de savana. Neste sentido, pode-se adotar o termo resiliência proposto por Alves (2007), para caracterizar a tolerância de um ecossistema contra um estresse, ou uma resposta que um dado corpo pode dar após essa força ter sido aplicada.

Trabalhos realizados na Amazônia têm demonstrado uma tendência de aumento na proporção de carbono (C) derivado das pastagens com o tempo de uso, em decorrência do enriquecimento em C proveniente de gramínea forrageira de ciclo fotossintético C4. Assim, os estoques de C remanescentes da floresta decrescem e ocorre um acréscimo nos estoques de C oriundo da pastagem conforme trabalhos realizados em Rondônia (Neill *et al.*, 1996; em Manaus (Desjardins *et al.*, 2004); no Pará (Desjardins *et al.*, 1994); e no Acre (Salimon *et al.*, 2007; Salimon, 2003).

Os teores de MOS observados nas áreas de pastagem deste estudo podem ter evitado mudanças mais drásticas nos atributos físico-hídricos do solo, fato corroborado por Flores *et al.* (2007) que não observaram diferenças estatísticas na porosidade nem na densidade do solo com o pastejo intenso por bovinos. Estes autores atribuíram isso aos resíduos vegetais depositados sobre o solo ($5,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) por culturas anteriores em sistema de plantio direto, que diminuem o efeito do pisoteio animal na compactação superficial do solo. Isso pode explicar a maior amplitude encontrada na densidade do solo e porosidade da FN e FC, pois na Floresta Convertida não havia um sistema de plantio bem manejado como ocorreu na Savana Convertida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices que determinam a estabilidade dos agregados não foram influenciados

pela conversão dos ambientes naturais em pastagem.

A classificação dos agregados, o diâmetro médio geométrico, o grau de floculação e a argila dispersa não diferiram entre ambiente natural e pastagem, indicando que uma pastagem bem manejada pode manter a qualidade estrutural do solo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. **Aplicação de Calcário e Fósforo e Estabilidade da Estrutura de um Solo Ácido**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, p. 799-806, 2003.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. **Densidade do Solo e Infiltração de Água como Indicadores da Qualidade Física de um Latossolo Vermelho Distrófico em Recuperação**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, p. 617-625, 2007.

ARAÚJO, E. A. **Qualidade do Solo em Ecossistema de Mata Nativa e Pastagens na Região Leste do Acre, Amazônia Ocidental** – Universidade Federal de Viçosa, 2008. 233 f. (Tese de Doutorado)

ARSHAD, M. A.; MARTINS, S. **Identifying Critical Limits for Soil Quality Indicators in Agroecosystems**. Agriculture, Ecosystems and Environment. v 88, n 2, p 153 – 160, 2002.

BARBOSA, R. I.; MELO, V. F. **Roraima: Homem, ambiente e ecologia**. Boa Vista: FEMACT, 2010. 644 p.

BARROS, L. S.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. R.; MOURÃO, M. **Perdas de Solo e Água em Plantio de Acacia mangium Wild em Savana de Roraima, Norte da Amazônia**. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v. 33, p. 235 – 475, 2009.

BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO V. F.; UCHÔA, S. C. P. **Gênese, Química e Mineralogia de Solos Derivados de Sedimentos Pliopleistocênicos e de Rochas Vulcânicas Básicas em Roraima, Norte Amazônico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, p. 299-312, 2011.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. **Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.28, n.1, 2004.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. **Estabilidade Estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico Após Sete Anos de Rotação de Culturas e Sistemas de Manejo do Solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S. e AZEVEDO, W. R. **Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.33, p. 147-157, 2009.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. da. **Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 30. n.1, p. 137-147, jan/fev. 2006.

CERRI, C. E. P. **Variabilidade Espacial e Temporal do Carbono do solo na Conversão de Floresta em Pastagem na Amazônia Ocidental (Rondônia)**. 159 p. (Tese de Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo, 2003.

- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. **Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 27, n.3. maio/jun. 2003.
- CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. **Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v.27, n.6 nov./dez. 2003.
- DESJARDINS, T.; ANDREUX, F.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. **Organic Carbon and ¹³C Contents in Soils and Soil Size-Fractions, and their Changes due to Deforestation and Pasture Installation in Eastern Amazonia.** Geoderma, n. 61, n. 1, p. 103-118, 1994.
- DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI A. **Effects of Forest Conversion to Pasture on Soil Carbon Content and Dynamics in Brazilian Amazonia.** Agriculture, ecosystems & environment, v. 103, n. 4, p. 365-373, 2004.
- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- EMBRAPA. **Manual De Métodos De Análise De Solo.** 2.ed. Rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p. il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).
- FILHO, J. A.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. **Física do Solo: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza. Imprensa Universitária, 2008. 290 p.
- FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. **Atributos Físicos do Solo e Rendimento de Soja em Sistema Plantio Direto em Integração Lavoura-pecuária com Diferentes Pressões de Pastejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, p. 771-780, 2007.
- GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A. C. **Degradação Física de um Latossolo Vermelho Utilizado para Produção Intensiva de Forragem.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, p. 863 – 873, 2007.
- LEÃO T. P. **Intervalo Hídrico Ótimo em Diferentes Sistemas de Pastejo e Manejo da Pastagem.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2002. 58 p. (Dissertação de Mestrado).
- MARCOLAN, A. L. **Atributos Físicos e Químicos de uma Argissolo e Rendimento de Culturas em Função do seu Revolvimento na Reaplicação de Calcário no Sistema de Plantio Direto.** Porto Alegre – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002. 87 p. (Dissertação de Mestrado).
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. **Perdas de Solo e Água por Erosão Hídrica em Sistemas Florestais na Região de Aracruz (ES).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, viçosa, v. 27, p. 395-403, 2003.
- MASSING, J. P.; KLEIN, V. A.; CÂMARA, R. K.; BIASUZ JUNIOR, I. J.; SIMON, M. A. **Densidade máxima e relativa de solos sob plantio direto.** In: Reunião Brasileira De Manejo e Conservação do Solo e da Água: manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos, 15. Santa Maria – RS, 2004.
- MELO, V. F.; GIANLUPPI, D.; UCHÔA, S. C. P. **Características Edafológicas dos Solos do Estado de Roraima.** Boa Vista: DSI/UFRR, 2004. 46p.
- MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. **Avaliação da Qualidade de Solos sob Diferentes Coberturas Florestais e de Pastagem no sul de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, p. 2461-2470, 2008.

- MORELLI, M.; FERREIRA, E. B. **Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 11:1-6, 1987.
- NEILL, C.; FRY, B.; MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.S.; MORAES, J.F.L.; CERRI, C.C. **Forest and Pasture-derived Carbon Contributions to Carbon Stocks and Microbial Respiration of Tropical Pasture Soils.** Oecologia, v. 107, n. 1, p. 113-119, 1996.
- NEVES, J. A. F. **Avaliação da Qualidade Física de Solo em Pastagens Degradadas da Amazônia.** Piracicaba – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, 2005. 66p. (Dissertação de Mestrado).
- RIBEIRO JÚNIOR, J.I. **Análises Estatísticas no SAEG – Guia Prático.** Viçosa: UFV, 2012. 301 p.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas.** Ciência Ambiental, v. 27, p. 29-48, 2003.
- SALIMON, C.I. **Respiração do Solo Sob Florestas e Pastagens na Amazônia Sul-Occidental, Acre.** Piracicaba, 2003. 97p. (Tese de Doutorado)
- SALIMON, C.I.; WADT, P.G.S.; MELO, A.W.F.; **Dinâmica do Carbono na Conversão de Florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudeste da Amazônia.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 7, n. 1, p. 29-38, 2007.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. **Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa v. 32, p. 11-21, 2008.
- SANTANA, M. B.; SILVA SOUZA, L. da; DUARTE SOUZA, L.; FONTES, L. E. F. **Atributos Físicos do Solo e Distribuição do Sistema Radicular de Citros como Indicadores de Horizontes Coesos em Dois Solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, p. 1-12, 2006.
- SETA, A. K.; KARATHANANIS, A.D. **Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates.** Geoderma, 74:255-266, 1997.
- SILVA, A. J. N. **Efeito de Sistemas de Uso e Manejo nas Propriedades Físico-Hídricas de um Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, p. 833-842, 2005.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. **Sistemas de Cultivo e Características do Solo Afetando a Estabilidade de Agregados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 22, p. 311-317, 1998.
- SILVA, R. R. da.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. **Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande – MG.** Revista Ciência Agrotécnica, Lavras, v. 29, n.4. p.719-730. jul./ago., 2005.
- SILVA, R. F. da; BORGES, C. D.; Garib, D. M.; MERCANTE, F. M. **Atributos Físicos e Teor de Matéria Orgânica na Profundidade Superficial de um Argissolo Vermelho Cultivado com Mandioca sob Diferentes Manejos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, p. 2435-2441, 2008.
- SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S. do; SILVEIRA, E. C. P. **Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.
- SOUZA, M. I. L. **Qualidade Físico-Hídrica de um Argissolo Vermelho Amarelo sob Agroecossistema e Floresta Natural em Roraima.** Boa Vista – Universidade Federal de Roraima, 2010, 91 p (Dissertação de Mestrado).

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. **Organic matter and waterstable aggregates in soil.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 33, n.2, p. 141-163, 1982.

WESTERHOF, R.; BUURMAN, P.; van GRIETHUYSEN, C.; AYARZA, M.; VILELA, L.; ZECH, W. **Aggregation studied by laser diffraction in relation to plowing and liming in the Cerrado region in Brazil.** Geoderma, v. 90, p. 277-290, 1999.

Oportunidades e desafios da difusão de veículos elétricos no Brasil

Edson Luiz Alves de Oliveira

Engenheiro Eletricista, Universidade Paranaense – Unipar

Tiago Pracidini de Almeida

Engenheiro Eletricista, Universidade Paranaense – Unipar

Emanuel Vedovetto Santos

Engenheiro Eletricista, Universidade Estadual de Maringá – UEM

Paschoal Molinari Neto

Engenheiro Eletricista, Universidade Federal da Bahia - UFBA

RESUMO

O surgimento dos veículos elétricos (VEs) ocorreu por volta de 1800 estando relacionado a invenção das baterias elétricas, mais tarde no início do século XX foi uma era marcada pelo intenso desenvolvimento e popularização dos veículos elétricos. Com o surgimento dos veículos a gasolina em poucos anos o mercado automobilístico apresentava um novo cenário e conseqüente declínio dos veículos elétricos. Mais tarde, por volta de 1960 a crescente consciência das questões ambientais estimulou o setor automobilístico a se reinventar, o que fez os automóveis elétricos voltar a atrair a atenção das grandes montadoras. Atualmente a popularização e desenvolvimento tecnológico dos VEs encontra-se avançada e difundida ao redor do mundo, sendo estimulada pela urgência ambiental e qualidade de vida que influenciam a atitude dos compradores de automóveis de adotar meios de transporte de baixo impacto ambiental. A difusão da mobilidade elétrica no Brasil ainda enfrenta alguns gargalos, como o alto custo do veículo, a rede de recarga reduzida e poucas ações governamentais que incentive essa transição. Desse modo, o presente trabalho de revisão de literatura tem como objetivo apresentar a tecnologia de veículos elétricos, bem como os desafios e as oportunidades na difusão da mobilidade elétrica no Brasil. Com avanços de novas soluções tecnologias térmicas e elétricas têm resultado no aprimoramento, desenvolvimento e modernização dos veículos elétricos puros, os elétricos híbridos puros, os híbridos plug-in, os híbridos de longo alcance e os veículos elétricos movidos a célula de hidrogênio. Ao redor do mundo, o mercado de VEs tem crescido de forma exponencial devido à queda nos custos, os avanços tecnológicos e aos incentivos governamentais. Em 2022 foram comercializados 10,2 milhões de VEs das categorias elétricos puros e híbridos elétricos plug-in. O mercado é liderado pela China que já superou a meta de vendas de veículos que havia traçado para 2025, seguido pela Europa e Estados Unidos. Esse avanço da eletromobilidade se deve a esses governos que estão se organizando para a ampliação e fortalecimento da infraestrutura de recarga, com a instalação de novos eletropostos para atender o crescimento exponencial da frota de VEs em seus países. No Brasil, aos poucos os VEs *têm ganhado espaço no mercado automobilístico, devido ao*



aumento da conscientização ambiental, os avanços na tecnologia de baterias, os incentivos governamentais e as iniciativas da indústria automobilística, o que ainda reflete muitos desafios, mas também oportunidades, devido a presença de recursos naturais com potencial de gerar eletricidade de fontes limpas para ajudar a alimentar a frota de VEs. A mobilidade elétrica no Brasil está vinculada não apenas às preocupações ambientais, mas também à busca por autonomia energética e à diversificação de fontes de energia. Além disso, iniciativas de políticas públicas, incentivos fiscais e parcerias entre governo, o setor privado e a sociedade são essenciais para impulsionar a aceitação dos veículos elétricos. O sucesso dessa transição depende não apenas da inovação tecnológica, mas também de esforços para superar desafios na infraestrutura, desafios econômicos e regulatórios. A mobilidade elétrica representa não apenas uma mudança nos meios de transporte, mas o avanço tecnológico, autonomia e sustentabilidade no contexto mundial atual e futuro.

Palavras-chave: mobilidade elétrica. carro elétrico. veículo híbrido. energia limpa. sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Os primeiros veículos elétricos começaram a ser desenvolvidos por volta 1800 em pequena escala, com várias limitações de tecnologia e também de mercado. Com o avanço das tecnologias de baterias e motores elétricos a partir da década de 1990 que os carros elétricos começaram a ser produzidos em maior escala com baterias recarregáveis. Com o aumento da poluição atmosférica com gases de efeito estufa, os carros elétricos se tornaram uma alternativa promissora para a mobilidade urbana. Grandes montadoras estão investindo cada vez mais em veículos elétricos, desenvolvendo novas tecnologias para viabilizar os carros elétricos no mercado (Hoyer, 2008).

Os motores elétricos alimentados por baterias recarregáveis, são mais eficientes do que os veículos convencionais com motores de combustão interna, pois convertem a energia elétrica diretamente em movimento, com menor perda de energia em forma de calor. Além disso, eles produzem menos emissões de gases e poluentes locais, o que os torna menos agressivo ao meio ambiente (Sato, 2005).

Existem diversos tipos de veículos elétricos, desde carros de passeio, ônibus, caminhões e até mesmo bicicletas e patinetes elétricos. Eles estão se tornando cada vez mais populares. Ainda, de acordo com Baran (2012), à medida que a tecnologia melhora e os custos diminuem os veículos movidos a energia elétrica vão ganhando espaço no mercado brasileiro e mundial. No Brasil o mercado de carros elétricos ainda é pequeno, mas tem crescido nos últimos anos, um dos principais fatores que impulsionam o crescimento dos carros elétricos no Brasil é a preocupação com o meio ambiente e a busca por fontes de energia mais limpas e sustentáveis.

Além disso, o governo Brasileiro assim como de outros países, estão incentivando o uso de carros elétricos, por meio de políticas públicas, projetos de leis, incentivos fiscais e programas de infraestrutura para a instalação de pontos de recarga de bateria. E assim, contribuir para uma melhor popularização dos carros elétricos, tendo uma melhor aceitação pela população, sendo uma importante alternativa de mobilidade urbana em constante crescimento para o futuro (Martins, 2016).

OBJETIVOS

Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a tecnologia de veículos elétricos, bem como os desafios e as oportunidades na difusão da mobilidade elétrica no Brasil.

Objetivos Específicos

Apresentar um breve relato histórico sobre o surgimento e a evolução dos veículos elétricos.

Diferenciar a tecnologia de veículos elétricos e híbridos, bem como caracterizar os sistemas empregados nos veículos híbridos comercializados atualmente.

Caracterizar a tecnologia de carregamento e manutenção dos veículos elétricos.

Analisar os principais desafios e oportunidades para a popularização dos veículos elétricos no Brasil e no mundo.

JUSTIFICATIVA

Uma contribuição para a sociedade, uma vez que o tema é relevante e em constante evolução. O trabalho de revisão bibliográfica sobre veículos elétricos deseja apresentar para a sociedade a importância, o despertar para a mobilidade inovadora, as oportunidades para o setor que se apresenta em constante evolução tecnológica, e os desafios existentes para a difusão dos VEs no Brasil.

O trabalho destaca os temas sobre Tecnologia de Veículos Elétricos, fornecendo informações claras e objetivas para a sociedade sobre os benefícios e desafios relacionados aos veículos elétricos ao redor do mundo. Isso contribui para a conscientização das pessoas sobre a importância da popularização de veículos elétricos como uma alternativa mais sustentável e ambientalmente menos agressiva ao meio ambiente em comparação aos veículos movidos a combustíveis fósseis.

Ainda, possui o potencial de revolucionar o setor de transporte, com a evolução de tecnologias já existentes e em constantes evolução permitindo traçar um panorama atualizado do conhecimento científico nessa área específica, ao examinar e sintetizar os estudos e pesquisas existentes, o trabalho pode identificar as lacunas no conhecimento, as tendências de mercado, ajudando em pesquisa e em descobertas mais recentes. Isso ajuda os pesquisadores a entenderem as, necessidade para fabricação de novas tecnologias e melhorar as existentes. A motivação para o desenvolvimento da pesquisa sobre veículos elétricos foi por uma série de fatores que impactam diretamente a sociedade e o meio ambiente, diante dos desafios globais, como a mudança climática e a dependência dos combustíveis fósseis, é necessário buscar alternativas mais sustentáveis e eficientes para a mobilidade urbana não só no Brasil, mas também a nível global.

HIPÓTESE

A tecnologia de carros elétricos encontra-se avançada e difundida nos principais países desenvolvidos no mundo, o que diversifica a mobilidade e a redução na emissão de gases poluentes. A adoção de veículos elétricos no Brasil é algo imprescindível, sendo uma alternativa de transporte limpo e eficiente devido a redução da dependência de combustíveis fósseis, sendo impulsionada pela preocupação com o meio ambiente e a busca por fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Contudo, ainda existem alguns entraves que devido à baixa popularização associa-se ao alto custo do veículo, o que requer incentivos governamentais e parcerias com empresas privadas para subsidiar e promover a sua utilização, além de proporcionar a infraestrutura de recarga que otimize a mobilidade.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA/DESENVOLVIMENTO

Relato Histórico dos Veículos Elétricos

O surgimento dos veículos elétricos (VEs) ocorreu a partir do final do século XIX, estando relacionado ao surgimento das baterias elétricas. Em 1800, o físico italiano Alessandro Volta demonstrou a possibilidade do armazenamento da energia elétrica, anos depois, Michael Faraday demonstrou os princípios de funcionamento do motor elétrico a partir das descobertas do pioneiro Volta (Hoyer, 2008).

Em 1859, o belga Gaston Planté apresentou a construção da primeira bateria de chumbo e ácido, e por sua vez Antonio Pacinotti em 1861, inventou o gerador elétrico de corrente contínua, o dínamo, também conhecida como frenagem regenerativa, um equipamento capaz de transformar a energia cinética do automóvel em movimento em energia elétrica durante a frenagem. Essas invenções foram a base para Gustave Trouvé, em 1881, apresentar o primeiro veículo elétrico, um triciclo de tração alimentada por baterias de chumbo (Hoyer, 2008).

Ainda, de acordo com Hoyer (2008), essas tecnologias foram utilizadas mais tarde em diversos veículos elétricos desenvolvidos no início da década de 1880 na França, Estados Unidos e Reino Unido. Segundo Cowan e Hultén (1996) o mercado automobilístico nos Estados Unidos se dividia principalmente entre os veículos elétricos e os a vapor. Em 1899 os VEs tornaram-se a maioria antes do final do século, e foram comercializados 1575 automóveis elétricos, 1681 a vapor e 936 a gasolina.

Enquanto que em 1885, Benz apresentou o primeiro motor de combustão interna que impactaria o mercado automobilístico nos anos vindouros. Em 1901, interessado no potencial dos VEs, Thomas Edison, desenvolveu a bateria níquel-ferro, com 40% a mais de capacidade de armazenamento que a bateria de chumbo, já difundida entre os carros elétricos, no entanto, com custo de produção muito mais elevado (Hoyer, 2008).

Entre o final do século XIX e o início do século XX foi uma era marcada pelo intenso desenvolvimento e popularização dos veículos elétricos. Em 1903 na cidade de Nova York havia cerca de 4000 automóveis registrados, sendo 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos, além de possuir uma frota pública de táxis movidos a energia elétrica (Struben;

Sterman, 2008 e Hoyer, 2008). As tecnologias desenvolvidas entre 1890 e 1900, como a frenagem regenerativa e o sistema híbrido a gasolina e eletricidade potencializaram o desempenho dos carros elétricos na época (Hoyer, 2008). Os veículos elétricos eram mais silenciosos, limpos e pouco vibravam, no entanto apresentavam desvantagens como o investimento para a compra, sendo mais caros que os concorrentes e possuíam baixa autonomia, por percorrer apenas pequenas distâncias (Anderson; Anderson, 2015).

Poucos anos mais tarde, em 1912 a frota de VEs de Nova York atingiu 30.000 unidades, e a participação dos carros a gasolina já era 30 vezes maior. No país norte americano entre 1899 e 1909, as vendas de automóveis a gasolina cresceram mais de 120 vezes, enquanto que os elétricos somente dobraram (Cowan; Hultén, 1996 e Struben; Sterman, 2008), seguindo uma forte queda pela preferência dos VEs.

A partir de 1910 o mercado automobilístico apresentava um novo cenário com a ascensão dos veículos movidos a gasolina e consequente declínio dos VEs, devido a produção em série de automóveis promovida pelo Fordismo que reduziu os preços de carros a gasolina pela metade do valor pago pelos veículos elétricos. Ainda, a invenção da partida elétrica eliminou o uso da manivela para acionar o motor dos veículos movidos a gasolina, além da expansão das rodovias nos Estados Unidos que demandava veículos com maior autonomia para trafegar longas distâncias aliado a queda do preço da gasolina em virtude ao desenvolvido do setor petrolífero no país (Baran; Legey, 2011 e U.S. Department of Energy, 2014).

Mais tarde, por volta dos anos 1960 o mundo volta a atenção para as questões ambientais, demorou mais de um século para a humanidade perceber que somente o motor a combustão não seria o mais adequado sob o ponto de vista ecológico, e que as emissões de gases tóxicos pelos automóveis de combustão estavam à frente como fonte de poluição, o que fez os automóveis elétricos voltar a atrair a atenção das grandes montadoras de veículos (Anderson; Anderson, 2015). No entanto, na década de 1970 com a crise do petróleo, a ideia de que VEs poderiam ser uma possível solução tecnológica para a retomada dos preços da gasolina e a redução da dependência do petróleo (Fontainhas; Cunha; Ferreira, 2016), iniciando a segunda geração dos veículos elétricos.

Enquanto isso no Brasil, em 1974 João Amaral Gurgel apresentou em rede nacional o primeiro modelo do veículo com tração elétrica, o modelo ITAIPU E-400 que teve o seu primeiro teste piloto no início da década de 1980. O veículo elétrico brasileiro esbarrava em dois grandes pilares, que até hoje não foram totalmente solucionados, o custo e autonomia da bateria, e ainda um terceiro, que era o tempo de vida útil das baterias utilizadas naquela época. Na atualidade, essas condições melhoram muito, graças as baterias muito mais tecnológicas, mas o alto custo delas ainda é o maior problema para a popularização do carro elétrico no mundo (Quatro Rodas, 2021).

A partir da década de 1990 com a crescente consciência das questões ambientais, o setor automobilístico teve que se adequar, isso significou que mesmo as grandes fabricantes de automóveis iniciaram experimentações específicas na área elétrica. A Fiat, General Motors, Chrysler, Honda, Toyota, Chevrolet, Ford e Nissan construíram protótipos inovadores ou converteram modelos a gasolina para explorar as vantagens operacionais dos carros elétricos fabricados anteriormente na área da mobilidade elétrica. A segunda

geração de carros elétricos foi, portanto, a vanguarda de um renascimento desses veículos elétricos, capaz de modificar e direcionar um novo e crescente mercado em concorrência ao carro tradicional (Gallina, 2023).

Ainda nesse novo período observou-se crescentes contribuições acadêmicas focadas na sustentabilidade da mobilidade, concentrando-se os estudos nos veículos híbridos, nos veículos alternativos na busca por meios de transporte alimentados por outras fontes de energia que não fosse o petróleo, seja pelo sistema híbrido ou hidrogênio ou o biocombustível (Dagsvik *et al.*, 2002), no entanto esse período pouco contribuiu com o campo da eletricidade pura, para os veículos elétricos a bateria.

Atualmente a tecnologia do carro elétrico encontra-se avançada e apta a ser utilizada, porém ainda existem alguns gargalos que impedem a sua disseminação no Brasil, como o alto custo do veículo, a falta de uma rede de recarga dos veículos e uma política que incentive a sua utilização.

Tecnologia de Veículos Elétricos e Híbridos

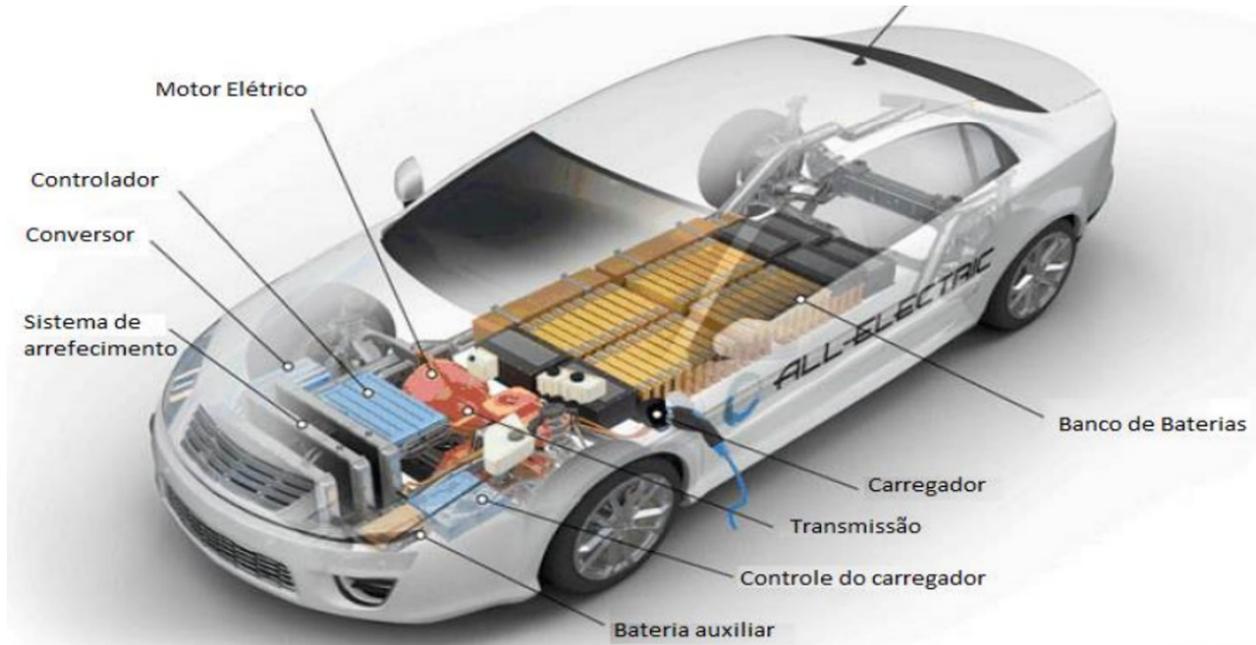
Os veículos elétricos (VEs) são classificados em quatro categorias com variações de tecnologias e métodos de utilização dos motores elétricos que resultam basicamente em veículos elétricos e híbridos. Os veículos elétricos puros compõem a primeira categoria e os veículos híbridos compõem a segunda categoria de VEs que estão descritos detalhadamente ao longo do texto.

Veículos Elétricos

Os veículos elétricos abreviados por VEs ou EVs proveniente de *Electric Vehicles* na língua inglesa, são os veículos que utilizam um ou mais motores elétricos, em parte ou por completo para propulsão, tendo a eletricidade como combustível (Delgado *et al.*, 2017). De acordo com os autores, a eletricidade para alimentar os VEs é armazenada em baterias químicas que alimentam o motor elétrico, e pode ser obtida de diferentes formas, conectando-o diretamente à fonte externa de eletricidade por meio de plugs (tomadas), ou por meio da energia mecânica de frenagem (frenagem regenerativa), ou recorrendo ao sistema de indução eletromagnética pela reação do hidrogênio e oxigênio com água em uma célula de combustível, ou ainda, utilizando cabos aéreos.

Veículo Elétrico Puro

A primeira categoria são os veículos elétricos puros (BEVs, denominado *Battery Electric Vehicles*), são veículos totalmente elétricos, cuja fonte de energia é a eletricidade proveniente de uma bateria interna com uso exclusivo de energia elétrica para a propulsão.

Figura 1 - Componentes básicos de um carro elétrico.

Fonte: Vasco (2020) adaptado de (SCHMIDT, 2019).

Os BEVs são considerados como PEVs (*Plug-in Electric Vehicles*) que possuem um conector (carregador para ligar na tomada) para alimentar a bateria com o uso de uma fonte de eletricidade externa, a rede elétrica. A função da bateria é armazenar a energia que o motor utilizará para ativar as rodas, ocasionando a transformação de energia elétrica em mecânica, em que o motor elétrico é a fonte primária de propulsão (Leitman; Brant, 2009; Delgado *et al.*, 2017), como pode ser observado os componentes básicos de um veículo elétrico puro na Figura 1. São exemplos de BEVs o Tesla MODEL X, o Ford MUSTANG MACH-E e o Renault ZOE E-TECH e o Ford Focus Electric que é alimentado exclusivamente por uma bateria recarregável, ou seja, não precisa de uma gota de gasolina e produz zero emissões de CO₂.

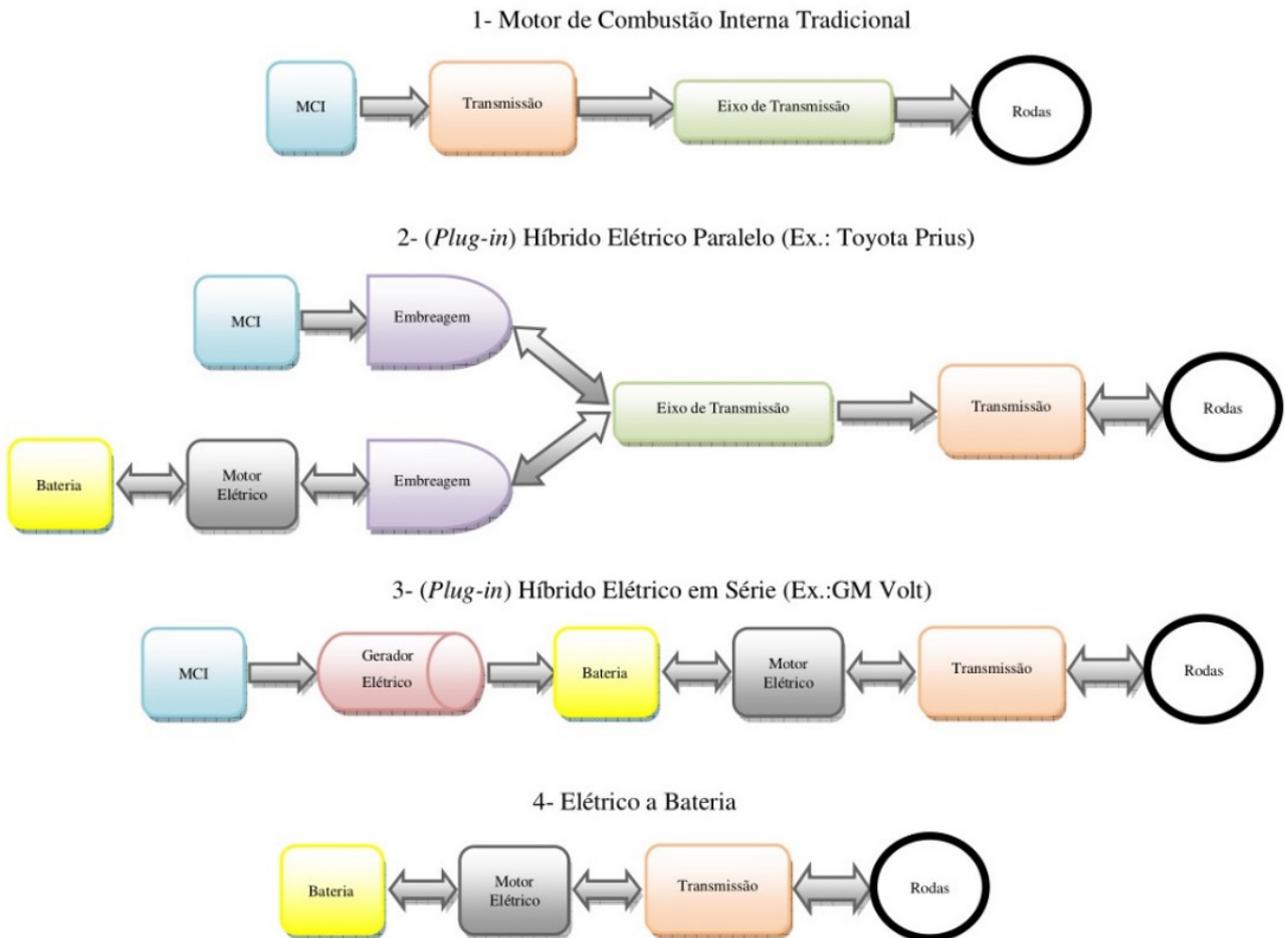
Veículos Elétricos Híbridos

Uma outra categoria são os veículos elétricos híbridos, sendo todo aquele que possui duas ou mais fontes de energias para a propulsão do veículo, sendo a energia elétrica uma delas. Desse modo, utilizam um motor elétrico movido pela energia armazenada em baterias, além do motor de combustão interna (MCI) para propulsão. Os veículos elétricos híbridos (VEs híbridos) são classificados em três tipos, o Híbrido Puro ou Híbrido não *plug-in*, o Híbrido *Plug-in* e o Híbrido de longo alcance (Delgado *et al.*, 2017), e são empregados basicamente três tipos de sistemas nos VEs híbridos comercializados atualmente: o sistema híbrido de tração em série, o sistema híbrido em paralelo e o sistema misto (Amorim, 2012; Baran, 2012). As diferenças entre o motor de combustão interna tradicional e a configuração dos veículos elétricos estão descritos abaixo e representados na Figura 2.

No sistema híbrido com tração em série, o motor de combustão interna aciona um gerador e fornece eletricidade para alimentar o motor elétrico para mover o carro, sendo movido apenas pelo motor elétrico (Figura 2). Amorim (2012) reforça que neste sistema o motor a combustão interna não está ligado às rodas e funciona somente para mover um

gerador que é responsável por produzir toda a eletricidade que vai direto para o motor elétrico ou para as baterias.

Figura 2 - Fluxogramas das principais configurações de automóveis, o fluxo de potência para o motor de combustão interna tradicional, o híbrido elétrico paralelo (*plug-in* ou não), híbrido elétrico em série (*plug-in* ou não) e o elétrico a bateria.



Fonte: Baran (2012) adaptado de Ralston e Nigro (2011)

O sistema híbrido em paralelo, os dois motores são utilizados para a propulsão, segundo Amorim (2012), esse tipo de motor permite o funcionamento de três maneiras, somente o elétrico, somente a combustão interna ou os dois ao mesmo tempo, o qual possui duas fontes de alimentação conectados por meio da transmissão para as rodas, tanto uma fonte quanto a outra pode fornecer uma parte ou toda a energia necessária para o veículo a qualquer momento particular.

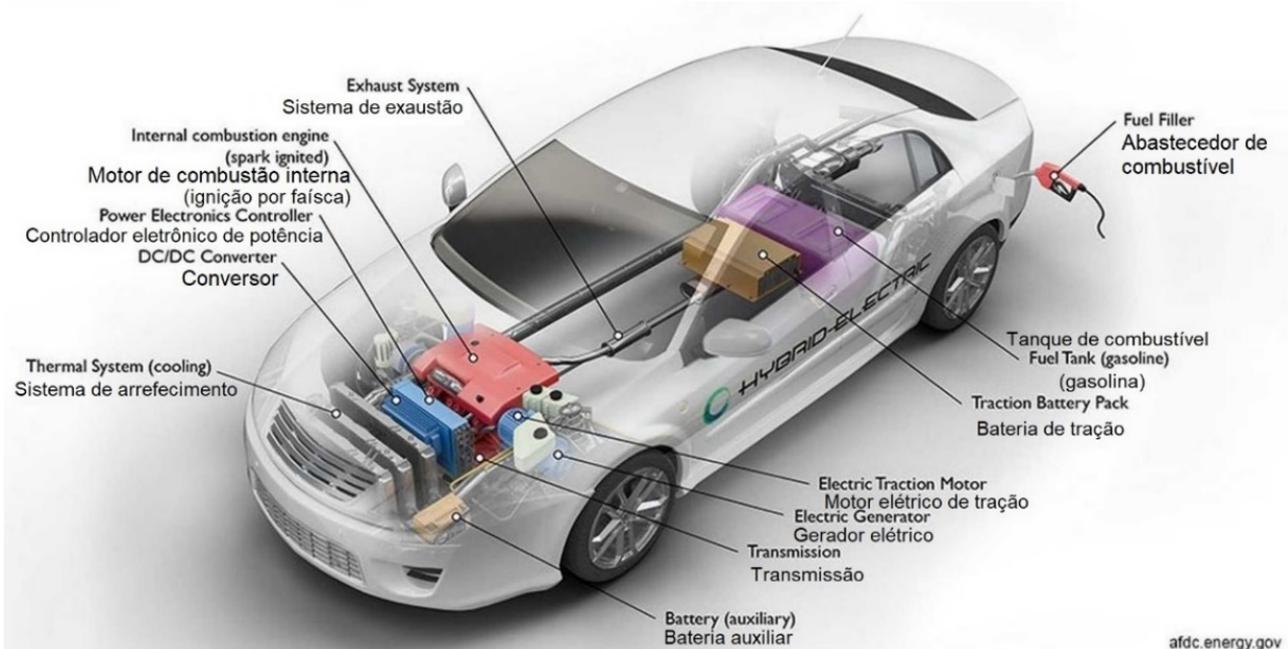
O sistema de tração misto, em que dois motores elétricos atuam um em série e outro em paralelo ao motor de combustão interna. Nos três sistemas híbridos o MCI é desligado quando o veículo fica parado por muito tempo no trânsito, e as baterias também são recarregadas por meio do sistema de frenagem regenerativa (Amorim, 2012; Baran, 2012).

Veículo Elétrico Híbrido Puro

O Híbrido puro (HEV, da sigla em inglês *Hybrid Electric Vehicle*) também denominado de Veículo Híbrido não *Plug-in*, deriva da combinação de um (ou mais) motor elétrico com um motor de combustão interna e um gerador (Figura 3). O motor principal de propulsão do veículo é o motor à combustão interna, e o motor elétrico atua na melhoria da eficiência do MCI ao fornecer tração em baixa potência, sendo característico de sistema híbrido paralelo. Esse modelo possui bateria que é carregada somente pelo próprio veículo, ou seja, as baterias são carregadas quando o motorista reduz a marcha, tirando o pé do acelerador, ou freia por meio das frenagens regenerativas (Delgado *et al.*, 2017).

Normalmente esses automóveis fazem uso somente do motor elétrico à medida que as condições de condução e terreno são propícias, geralmente em baixa rotação de acordo com a potência que o motor desenvolve e, nas situações em que a potência não é suficiente, o MCI é ativado automaticamente (Raskin; Shah, 2006). A exemplo o híbrido, como o Ford Fusion *Hybrid*, é um veículo que combina um motor a gasolina e um motor elétrico alimentado a bateria, ao rodar, o carro muda automaticamente entre os dois, para oferecer a melhor eficiência e desempenho (Ford, 2017).

Figura 3 - Componentes básicos de um carro elétrico híbrido puro.



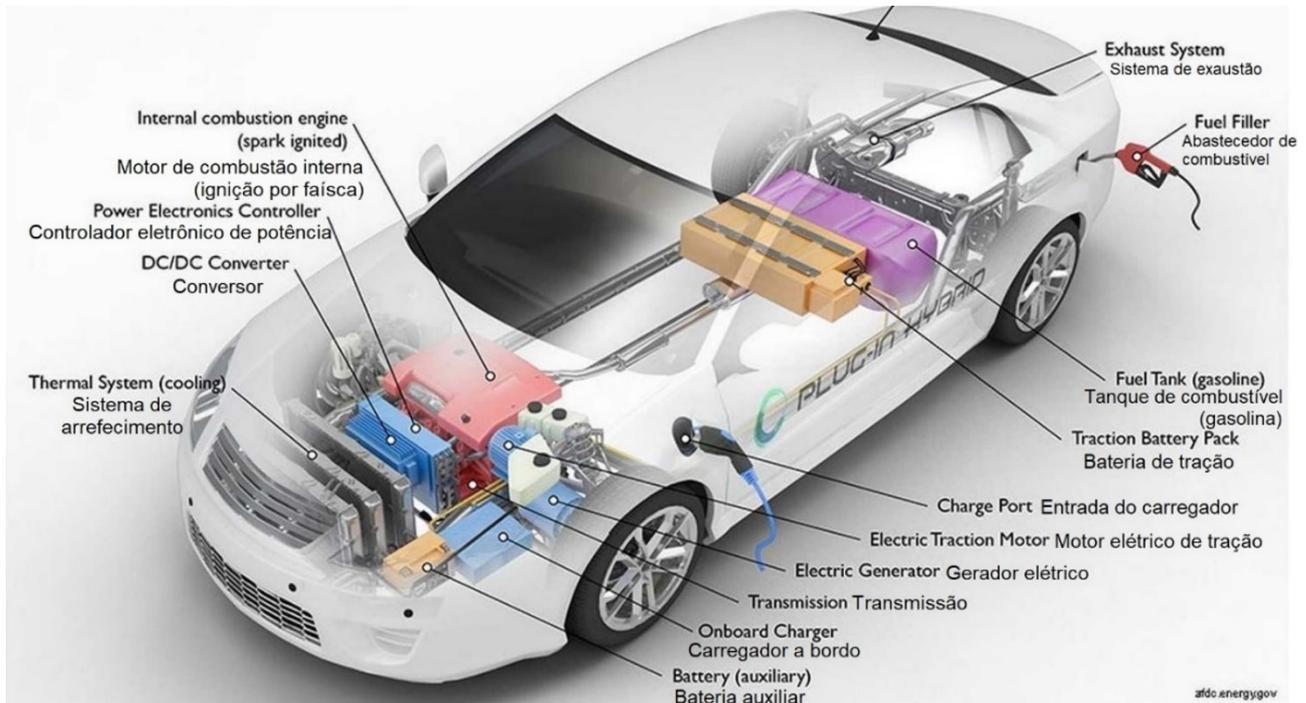
Fonte: U.S. Department of Energy (2023)

Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in*

O Híbrido *Plug-in* (PHEV, da sigla em inglês *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*), utiliza uma bateria, um motor de combustão interna e um motor elétrico, em que o MCI é o principal propulsor do veículo, e a bateria possui maior capacidade de armazenamento que a de um Veículo Híbrido não *Plug-in*, podendo ser recarregada quando conectada à rede de distribuição de energia elétrica (Figura 4), o híbrido *Plug-in* é um híbrido de tração paralelo tal como o híbrido não *plug-in* (Baran 2012; Delgado *et al.*, 2017).

De acordo com Balsa (2013) a bateria de um Híbrido *Plug-in* é capaz de armazenar energia suficiente para realizar deslocamentos por médias/longas distâncias sem qualquer assistência do motor de combustão interna, sendo que esse é utilizado como gerador de energia elétrica para o motor elétrico quando a bateria descarrega. Segundo a Ford (2016) um híbrido *plug-in*, como o Ford C-Max Energi, é um veículo similar ao híbrido, mas com a opção de ser recarregado na tomada, em baixa velocidade, ambos podem rodar no modo elétrico, o que significa menos paradas no posto de combustível.

Figura 4 - Componentes básicos de um carro elétrico híbrido *plug-in*.



Fonte: U.S. Department of Energy (2023)

Como também utiliza combustíveis tradicionais (fósseis ou biocombustíveis), quando comparado aos veículos elétricos puros, o Híbrido *Plug-in* geralmente garante uma maior autonomia, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Veículos Elétricos: Conheça as diferenças entre Elétrico, Híbrido e Híbrido Plug-In.

Fonte: FORD (2019).

Sobre a melhor opção de uso, os veículos elétricos são ideias para trajetos curtos do dia a dia, geram emissões zero de CO_2 , mas exigem tempo para carregar. Os híbridos comuns (não *plug-in*) demandam combustível para o motor carregar a bateria, que também é complementada pela frenagem regenerativa, o que possibilita maior autonomia para distância longa. Já os híbridos *plug-in* nunca precisam ser ligados na tomada, funcionam como um carro híbrido comum, podendo percorrer distâncias maiores, mas a opção pelo uso local somente no modo elétrico pode exigir conexão com a rede elétrica, sendo o uso opcional (Ford, 2016).

Veículo Elétrico Híbrido de Longo Alcance

Híbrido de longo alcance (E-REV, da sigla inglesa *Extended Range Electric Vehicle*), de acordo com Delgado *et al.*, (2017), é um híbrido do tipo em série em que o motor principal é o elétrico, que é alimentado diretamente por uma fonte elétrica externa, com o motor à combustão interna fornecendo energia a um gerador, que mantém um nível mínimo de carga da bateria, fazendo com que o E-REV tenha alcance estendido.

Demais Categorias de Veículos Elétricos

A terceira categoria são os veículos elétricos movidos a célula de hidrogênio (FCEV, da sigla em inglês *Fuel Cell Electric Vehicle*) que combinam o hidrogênio e oxigênio para produzir a eletricidade que fará funcionar o motor. A conversão do gás de hidrogênio em eletricidade produz somente água e calor como subprodutos, ou seja, não apresentam emissões de escape. Ao comparar aos demais tipos de veículos elétricos o FCEV tem autonomia similar aos veículos movidos a gasolina ou a diesel (300-500 km) autonomia elétrica de média a alta, portanto, superior à maioria dos veículos elétricos (Delgado *et al.*, 2017).

E a última categoria são os veículos elétricos alimentados por cabos externos (RPEV – *Road Powered Electric Vehicle*) diretamente conectados à rede elétrica, estejam esses cabos acima do veículo, como os *trolley buses* (trólebus) e caminhões em portos e estradas eletrificadas, ou abaixo como os Veículos Leves sobre Trilhos (VLTs).

Carregamento de Carros Elétricos: Como Funciona?

A recarga de carros elétricos é feita por pontos de estação de recarga que são instalados em residências ou em locais públicos: Muitos proprietários de carros elétricos optam por instalar uma estação de recarga em suas residências para carregar seus veículos durante a noite ou durante o dia enquanto estão em casa. Isso permite que eles aproveitem a conveniência de ter um ponto de recarga na sua residência (Revista Carro, 2023).

O processo de carregamento é bastante simples: basta conectar o cabo de carregamento do ponto de recarga ao carro elétrico e iniciar o carregamento. O sistema de carregamento controla a transferência de eletricidade para a bateria do carro, fornecendo a energia elétrica necessária para carregar as baterias do carro. As estações de recarga podem variar em termos de capacidade de carga, velocidade de carregamento e conectores disponíveis (Delgado *et al.*, 2017).

Os carregadores são encontrados na versão residencial, comercial, ou de carga rápida, ou de nível 1, 2 ou 3 estes carregadores podem ser portáteis, instalados na parede, fixado em um suporte ou instalados diretamente no solo, os modelos de carregadores são muitos podem variar de acordo com a potência de cada veículo, fabricante e marca (Revista Carro, 2023).

Os carregadores podem ser divididos entre os de corrente contínua (CC) e os de corrente alternada (CA) para carregar a bateria de um carro elétrico a bateria recebe a energia em corrente contínua (CC), mas, na maioria das vezes o veículo recebe a energia em corrente alternada (CA). é necessário um inversor de frequência para fazer a conversão da corrente alternada da rede elétrica em corrente contínua, como a das baterias. Todo carro elétrico possui um inversor interno para fazer esta conversão. Já os carregadores de carga rápida, fornecem energia em corrente contínua (CC) eles têm seu próprio inversor interno e de maior potência, transformando a energia da rede (CA) em corrente contínua (CC) e permitindo maior velocidade na recarga e autonomia do veículo, (Rodrigues, 2014).

Tipos de Carregadores

Os carregadores de nível 01 segundo Rodrigues (2014), também conhecidos como cabos de carregamento portáteis, são dispositivos projetados para fornecer uma carga de energia mínima para veículos elétricos quando não há acesso a uma estação de carregamento de alta potência. Esses carregadores de emergência geralmente vêm com o veículo elétrico e são usados como backup em situações de emergência, como quando o veículo fica sem carga em um remoto local ou quando não há disponibilidade de uma estação de carregamento adequada nas proximidades.

Para Lafuente (2011) os carregadores de emergência normalmente têm uma potência de saída menor do que os carregadores de nível 2 ou de estação de carregamento

rápido, eles são projetados para serem conectados diretamente a uma tomada elétrica residencial padrão, comumente conhecida como tomada doméstica de 120 volts ou 220 volts, ao conectar o carregador de emergência ao veículo elétrico e à tomada de parede, o carregador fornecerá uma corrente de carga mais baixa em comparação com outros métodos de carregamento, como os carregadores de nível 2. o tempo necessário para carregar completamente a bateria do veículo elétrico pode ser significativamente maior. Observa-se na figura 06 um carregador Portátil nível 01 do fabricante NeoCharge.

Figura 6 - Carregador Portátil: Carregador de emergência para carros elétricos.



Fonte: NeoCharge (2023).

Os carregadores de nível 02 Segundo Rodrigues (2014) é o carregador residencial para veículos elétricos é um dispositivo instalado em sua casa ou garagem para carregar o veículo elétrico de maneira conveniente e eficiente. Também é conhecido como carregador de parede. A instalação de um carregador residencial normalmente requer a contratação de um eletricista qualificado, é necessário verificar se a sua rede elétrica doméstica possui capacidade suficiente para suportar a carga adicional do carregador. O eletricista fará a instalação adequada do equipamento, incluindo a montagem do carregador na parede e a conexão com a rede elétrica.

A potência de carregamento dos carregadores residenciais de veículos elétricos geralmente fornece uma potência de carregamento maior em comparação com os carregadores de emergência ou as tomadas domésticas convencionais. Eles são projetados para operar em tensões de 380 volts, o que permite uma carga mais rápida. A potência de carregamento pode variar, mas é comum encontrar carregadores residenciais com capacidade de 7 kW a 22 kW. Observa-se na figura 07 um carregador NeoCharge Smart Wallbox residencial de nível 02 do fabricante NeoCharge.

Figura 7 - Carregador de Veículos Elétricos NeoCharge nível 02.

Fonte: NeoCharge (2023).

Segundo Rodrigues (2014) o carregador comercial de Nível 03 para veículos elétricos é um equipamento projetado para fornecer carregamento de alta potência em locais públicos, como postos de abastecimento, estacionamentos comerciais, shoppings, estações de serviço ou outros pontos de recarga públicos. Também é conhecido como estação de carregamento público ou carregador de nível 3 (ou *DC Fast Charger*), os carregadores comerciais são projetados para fornecer carregamento de alta potência e podem variar em termos de capacidade. eles geralmente operam em tensões mais altas, como 400 volts ou até mais, e podem fornecer potências de carga de 50 kW, 100 kW, 150 kW ou até mais. Essa alta potência permite um carregamento rápido dos veículos elétricos, reduzindo significativamente o tempo de recarga.

Os carregadores comerciais estão equipados com conectores adequados para diferentes veículos elétricos. Além dos conectores tipo 1 (J1772) e tipo 2 (Mennekes) mencionados anteriormente, os carregadores comerciais também podem ter conectores adicionais, como o conector Combo (CCS), usado em muitos veículos elétricos (Rodrigues, 2014).

Segundo Lafuente (2011) os carregadores comerciais geralmente possuem sistemas de pagamento integrados para permitir o acesso pago ao carregamento, isso pode incluir pagamento por cartão de crédito, aplicativos móveis ou até mesmo cartões de carregamento específicos. Além disso, muitos carregadores comerciais oferecem recursos de monitoramento e controle remoto para operadores de estações de recarga, permitindo que eles gerenciem a disponibilidade, o status do carregamento e os dados de consumo, é importante observar que nem todos os veículos elétricos são compatíveis com todos os tipos de carregadores comerciais, alguns veículos elétricos podem não suportar a potência de carregamento oferecida por determinados carregadores comerciais, é essencial verificar a compatibilidade do seu veículo com o carregador antes de iniciar o processo de carregamento.

Para Lafuente (2011) os carregadores comerciais desempenham um papel fundamental na infraestrutura de carregamento para veículos elétricos, permitindo que os usuários tenham acesso a carregamento rápido e conveniente em locais públicos. Essas estações de carregamento são essenciais para expandir a adoção de veículos elétricos e fornecer maior autonomia aos motoristas. Como apresentado na Figura 08, a estação de recarga WEMOB STATION de nível 03 do fabricante Wag.

Figura 8 - Estação de recarga Wemob station nível 03.



Fonte: Wag (2023).

Tipos de Conectores

De acordo com Schwertner (2017) o conector tipo 1 (9SAE J1772) é um conector padrão usado para carregamento de veículos elétricos. Ele foi desenvolvido pela *Society of Automotive Engineers* (SAE) e é amplamente utilizado em veículos elétricos e híbridos *plug-in* nos Estados Unidos e em outros países. o conector Tipo 1 possui um formato retangular com cinco pinos.

Figura 9 - Conector de nível 01.



Fonte: NeoCharge (2023).

Os três pinos superiores são responsáveis pela transmissão de energia elétrica, enquanto os dois pinos inferiores são usados para comunicação entre o veículo e o ponto de carregamento, conector Tipo 1 é projetado para carregamento em corrente alternada (AC) de baixa potência, geralmente até 7,4 kW. Ele é comumente encontrado em estações de carregamento públicas e também pode ser usado com um cabo de carregamento portátil para carregamento residencial (Delgado *et al.*, 2017), como pode ser observado a baixo a figura do carregador Nível1–SAEJ1772.

O Nível 2 (IEC 62196) é um conector padrão usado para carregamento de veículos elétricos em corrente alternada (AC) de média e alta potência. Ele é amplamente aceito na Europa e em muitas outras partes do mundo como um padrão de carregamento para veículos elétricos e híbridos *plug-in*. o conector Tipo 2 tem um formato retangular com sete pinos. Ele suporta carregamento em corrente alternada de até 22 kW ou mesmo carregamento rápido em corrente contínua (DC) de alta potência, se o veículo for compatível com isso. Os pinos extras no conector Tipo 2 são usados para comunicação de dados e podem fornecer informações adicionais sobre o status de carregamento, como a capacidade da bateria do veículo (Delgado *et al.*, 2017).

Para Schwertner (2017) uma das principais vantagens do conector Tipo 2 é sua compatibilidade com carregadores de diferentes potências. Ele permite o carregamento em diferentes níveis de potência, desde tomadas domésticas comuns de 3,7 kW até estações de carregamento público de alta potência de até 22 kW. Além disso, o conector Tipo 2 também suporta carregamento rápido em corrente contínua (DC) se o veículo e o ponto de carregamento com essa funcionalidade. Observa-se a baixo a figura do carregador Nível 2 (IEC 62196).

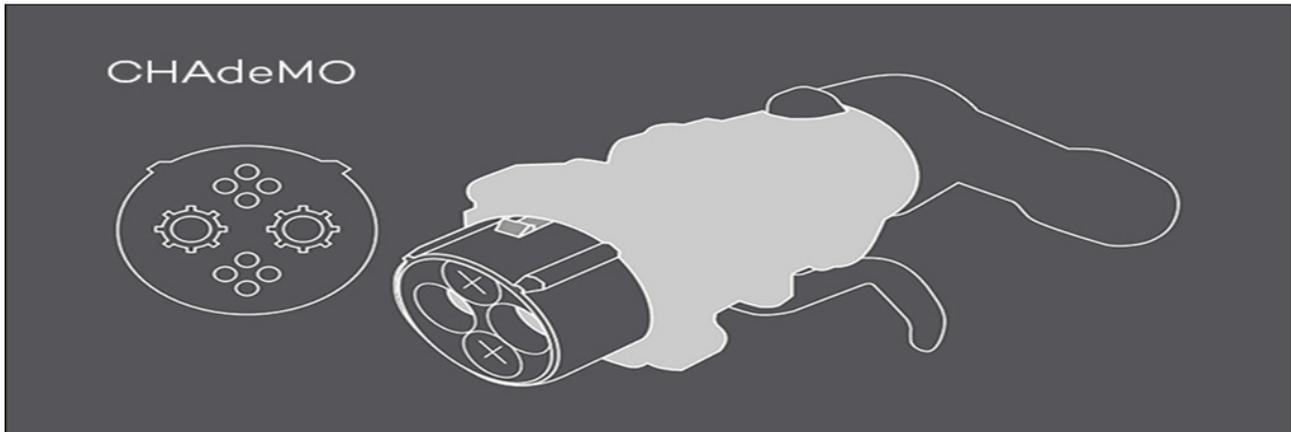
Figura 10 - Conector de nível 02.



Fonte: NeoCharge (2023).

O padrão de carregamento Chademo usa um tipo específico de conector que permite o carregamento DC (corrente contínua) de alta potência de EVs. Ele permite o carregamento rápido da bateria do veículo, inicialmente o Chademo foi amplamente adotado por montadoras japonesas, como Nissan e Mitsubishi, e também ganhou popularidade em outras partes do mundo. No entanto, nos últimos anos, o *Combined Charging System (CCS)* tornou-se o padrão de carregamento rápido DC dominante em muitas regiões, incluindo Europa e América do Norte. O CCS combina o carregamento AC (corrente alternada) e DC em um único conector, tornando-o mais versátil. A recarga pode ocorrer em potências de até 62,5 quilowatts, com a alimentação sendo em corrente contínua (CC) (Schwertner, 2017). Observa-se a baixo a figura do carregador CHAdeMO Nível 3.

Figura 11 - Conector de nível 03. CHAdeMO



Fonte: NeoCharge (2023).

Os Principais Desafios na Popularização do Veículo Elétrico no Brasil

A preocupação com o meio ambiente e o aquecimento global tem crescido nas últimas décadas, (Santos, 2007) impulsionada por fatores como o aumento das emissões de gases de efeito estufa esse é um assunto que tem ganhado cada vez mais destaque não só no Brasil, mas em outros países, os veículos movidos a combustíveis fósseis são uma das maiores causas da poluição atmosférica, e o carro elétrico é uma aposta em crescimento para viabilizar a mobilidade de baixo carbono.

Dessa forma, Gomes e Arruda (2015) demonstra o crescimento da mobilidade elétrica de baixo carbono estão vários desafios, nos países onde os veículos elétricos já é realidade não teria sido possível sem a implantação de diferentes incentivos para motivar a população a adquirir veículos elétricos.

Um dos principais desafios são políticas públicas eficientes, o Brasil durante a conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, o governo brasileiro apresentou um documento intitulado “Mobilidade Sustentável e Mudanças Climáticas”, que destacou a importância da mobilidade sustentável como forma de combater as mudanças climáticas (Domingues *et al.*, 2013).

Segundo Domingues *et al.* (2013) no documento, o governo brasileiro destacou a importância da adoção de veículos elétricos como uma alternativa de transporte limpo e eficiente. O texto afirmou que os veículos elétricos têm um enorme potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, os impactos das mudanças climáticas, especialmente nas grandes cidades.

De acordo com Castro e Ferreira (2010) os governos têm um papel crucial na promoção da infraestrutura de recarga para carros elétricos, fornecendo incentivos financeiros, regulamentações favoráveis, parcerias estratégicas e programas de conscientização. Essas medidas podem acelerar a adoção de veículos elétricos e contribuir para a transição para um sistema de transporte mais limpo e sustentável. A infraestrutura de recarga e a disponibilidade limitada de pontos de recarga também é um dos desafios. o Brasil ainda possui uma rede de recarga pouco desenvolvida, principalmente em comparação com países como Estados Unidos, China e alguns países europeus. É necessário investir na expansão

da infraestrutura de recarga, incluindo pontos de recarga rápidos em áreas urbanas e ao longo de rodovias.

O preço de compra de um carro elétrico ainda é mais alto em comparação com veículos a combustão interna. Isso se deve principalmente aos custos das baterias, que são componentes caros. Embora os custos estejam gradualmente diminuindo, é necessário implementar políticas que incentivem a redução dos preços, nos estados Unidos por exemplo, fornecem um bônus de até US\$ 7.500,00 para o consumidor que adquirir um veículo elétrico (Castro; Ferreira, 2010).

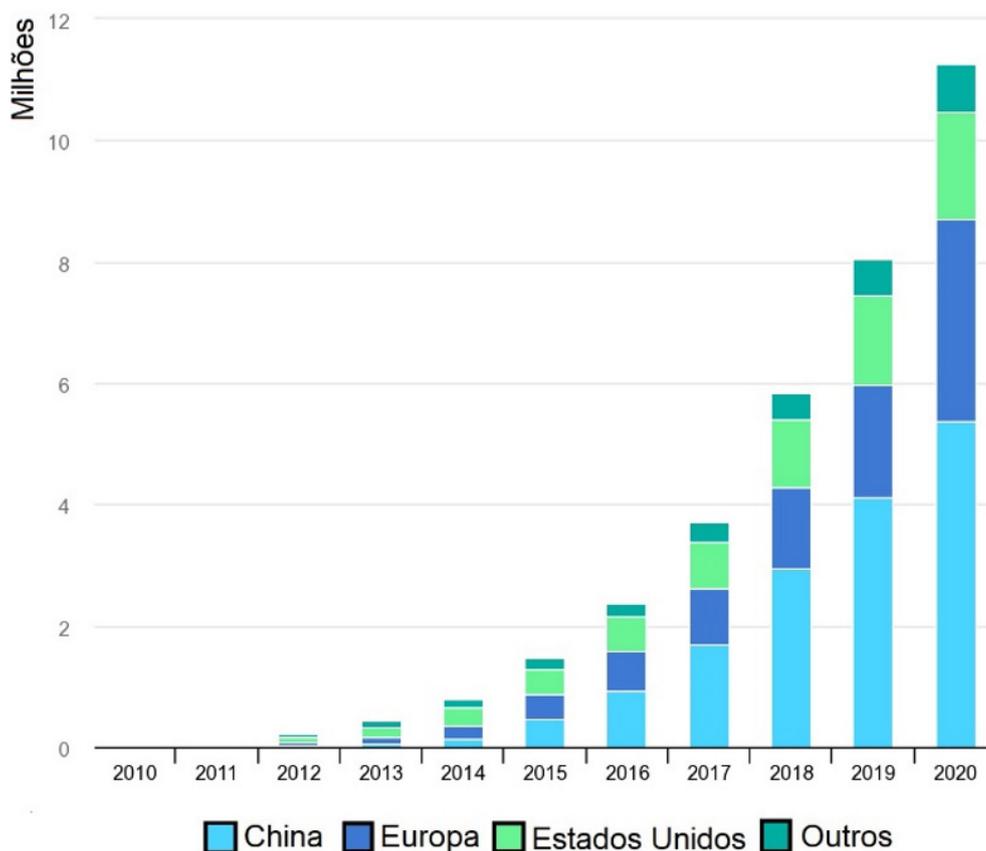
Mobilidade Elétrica no Mundo

A terceira e atual geração de veículos elétricos iniciou a partir de 2001 com avanços de novas soluções tecnologias térmicas e elétricas tem resultado no aprimoramento, desenvolvimento e modernização dos veículos elétricos puros, os elétricos híbridos puros, os híbridos *plug-in*, os híbridos de longo alcance e os veículos elétricos movidos a célula de hidrogênio.

Nesse novo período o setor público se aproxima e trabalha ao lado dos fabricantes de automóveis e das empresas de distribuição de eletricidade para o desenvolvimento da mobilidade elétrica. Tanto os fabricantes privados como o setor público decidiram investir cada vez mais recursos para incentivar a inovação e a adoção da mobilidade elétrica pela população e os fabricantes de automóveis empenhados em redefinir seus planos industriais e introduzir uma parcela crescente na oferta de veículos elétricos (Bacelli; Galdi; Grea, 2017).

A transição para a mobilidade elétrica tem sido estimulada pela urgência ambiental e qualidade de vida que influenciam a atitude dos compradores de automóveis, que têm demonstrado uma preferência crescente por inovações no campo elétrico e de adotar meios de transporte de baixo impacto ambiental. Além disso, o trabalho do setor público juntamente com as montadoras de veículos requer adequação e investimentos no setor rodoviário para promover segurança e tranquilidade aos usuários e adeptos da mobilidade elétrica. Juntamente com a implantação de infraestrutura de recarga, tanto privada quanto pública, devem ser consideradas políticas fiscais como incentivos para o financiamento para a compra, a dedução ou isenção de impostos, subsídios à eletricidade, estacionamento gratuito, estacionamento privilegiado, recarga grátis, acesso a faixas prioritárias, introdução de zonas de baixas emissões, tarifas altas e estacionamento para veículos convencionais e impostos de congestionamento (Held; Gerrits, 2019).

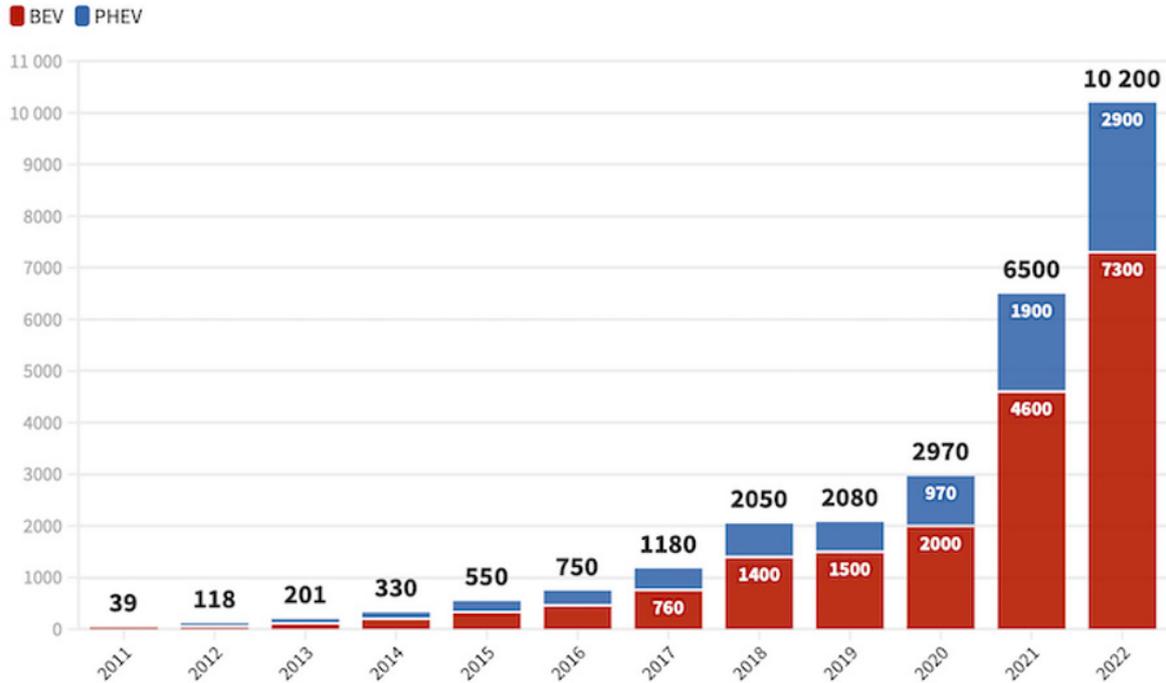
A mobilidade elétrica está a crescer pelo mundo, o mercado vem apresentando uma expansão acelerada com a concentração de VEs em três grandes mercados, a China, a Europa e os Estados Unidos (Figura 12).

Figura 12 - Estoque global de veículos elétricos por região: de 2010 a 2020 (em milhões de unidades)

Fonte: IEA (2021)

De acordo com a Agência Internacional de Energia - IEA (2021), em 2020 os VEs atingiram um volume de 10 milhões de unidades no mundo, considerando os veículos elétricos puros e híbridos elétricos *plug-in*, com crescimento de 41% entre 2019 e 2020, mesmo com o impacto da pandemia de Covid-19 que acarretou na redução de 16% nas vendas globais de automóveis. A China ocupa a primeira posição detendo cerca de 45% da frota circulante de VEs do mundo em 2020, com 4,5 milhões de carros, sendo 1,16 milhões comercializados somente em 2020, um aumento de 32% em relação a 2019. Ainda em 2020, a Europa possuía cerca de 3,2 milhões de VEs em circulação, em que destes, 1,4 milhão foram comercializados no mesmo ano. Os Estados Unidos com aproximadamente 1,7 milhões de VEs, cerca de 17% da frota mundial, em que 294 mil VEs foram adquiridos pelos americanos em 2020, sendo essa quantidade menor ao comparar com a China e a Europa.

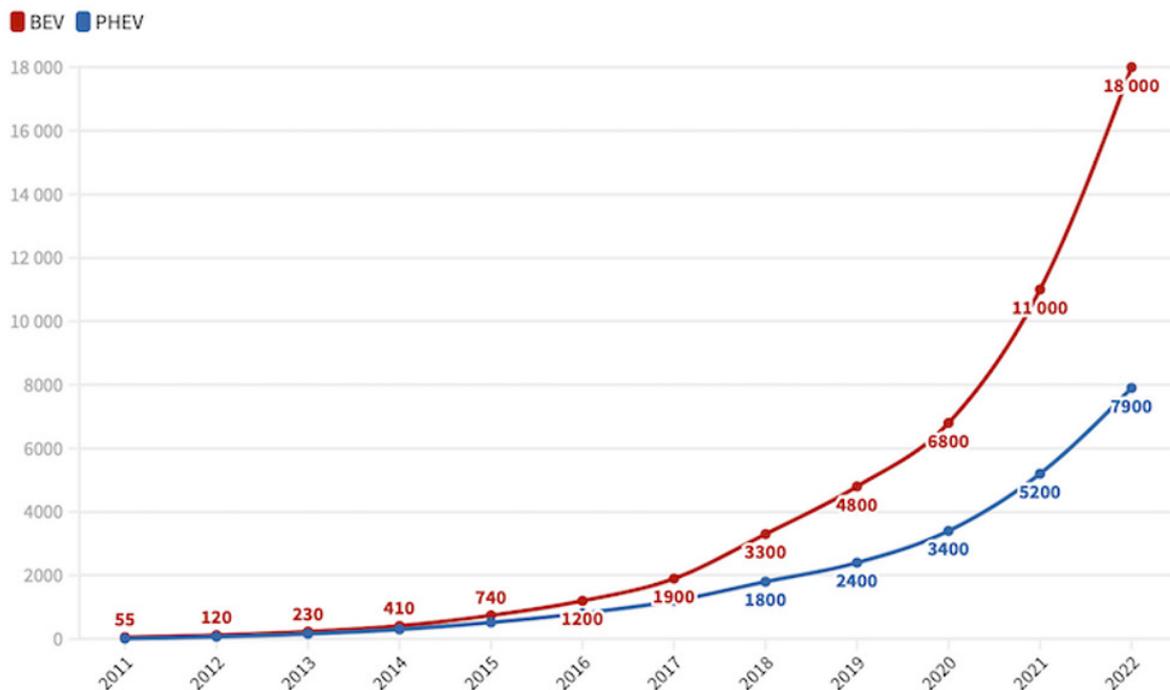
O mercado de veículos elétricos tem crescido de forma exponencial devido à queda nos custos, os avanços tecnológicos e aos incentivos governamentais. Em 2020 foram comercializados 2,9 milhões de VEs no mundo, há pouco mais de 2 anos, em 2022 em todo o mundo foram comercializados 10,2 milhões de VEs das categorias elétricos puros e híbridos elétricos *plug-in* (Figura 13), de acordo com o relatório da Agência Internacional de Energia, *Global EV Outlook 2023* (IEA, 2023). A China liderou as vendas, sendo responsável por comercializar 5,9 milhões de VEs, representando 58% do total, seguida pela Europa com 2,6 milhões e pelos Estados Unidos com 990 mil VEs comercializados (IEA, 2023).

Figura 13 - Comercialização global de veículos elétricos: de 2011 a 2022 (em milhões de unidades)

Fonte: Agência Internacional de Energia. BEV: veículo elétrico a bateria; PHEV: veículo elétrico híbrido plug-in.

Fonte: IEA (2023)

Ainda, o relatório destaca que mais de 26 milhões de carros elétricos circulavam pelas estradas do mundo em 2022, um aumento de 60% em relação ao ano anterior (Figura 14). A China continua liderando a frota de veículos elétricos, com mais da metade dos VEs de todo o mundo se encontra em território chinês, e o país já superou a meta de vendas de veículos que havia traçado para 2025.

Figura 14 - Estoque de veículos elétricos no mundo: de 2011 a 2022 (em milhões de unidades)

Fonte: Agência Internacional de Energia. BEV: veículo elétrico a bateria; PHEV: veículo elétrico híbrido plug-in.

Fonte: IEA (2023)

Na Europa, o segundo maior mercado, as vendas de carros elétricos aumentaram mais de 15% em 2022, o que significa que mais de um em cada cinco carros vendidos na região era elétrico. A Noruega talvez seja o país que melhor simboliza a revolução dos veículos elétricos, com os VEs chegando a 80% de vendas no mercado nacional em 2022, enquanto que em 2019 os veículos 100% elétricos representavam 56% das vendas (IEA, 2023), sendo considerada um caso de sucesso para o mundo de como a mobilidade elétrica é possível.

No Brasil em 2022, foram comercializados 18.500 veículos elétricos (10.000 elétricos híbridos *plug-in* e 8.500 elétricos puros), um crescimento de 33% em relação a 2021, totalizando 39.000 veículos elétricos (26.000 híbridos *plug-in* e 13.000 elétricos puros) em circulação no final de 2022 no território brasileiro (IEA, 2023). O mesmo estudo prevê que a comercialização de veículos elétricos deve permanecer aquecido em 2023, há uma previsão de que 14 milhões de unidades devem ser comercializadas até o fim do ano, o que significaria um aumento de 35% em relação a 2022.

O sucesso da mobilidade elétrica também está associado a implementação de políticas, com o intuito de reduzir o uso de meios de transporte movidos a combustíveis fósseis, adoção de incentivos fiscais que são aplicados na forma de isenção de taxas e subsídios na aquisição de VEs. A isenção de taxas refere-se ao abatimento de impostos incidentes sobre o valor do veículo e os subsídios financeiros são créditos fornecidos pelo governo ao consumidor na compra de um veículo (Stopfer, *et al.*, 2021). Essas políticas públicas são organizadas por metas estipuladas pelos governos, como objetivos de vendas e aumento da frota de VEs nos próximos anos, limites de emissão de gases de efeito estufa, metas de eficiência de combustíveis, dentre outras.

A Noruega anunciou que produzirá apenas veículos com emissão zero a partir de 2025, a Suécia anunciou os seus planos para aumentar o número de estações de carregamento rápido em 600% nas áreas com maior densidade populacional, com o intuito de aumentar a circulação de VEs até 2035 (Gallina, 2023). Países como Estados Unidos, China, Índia e Itália aplicam redução de taxas para incentivar a compra de veículos elétricos. O governo holandês oferece um subsídio de 2.000 a 3.350 euros dependendo do estado do carro, além de taxa zero ou reduzida para registro de veículos sem emissão de CO₂ ainda os pontos de carregamento são cedidos aos municípios sob algumas circunstâncias, havendo o incentivo de melhorarem a infraestrutura e deixarem os preços mais transparentes e acessíveis aos consumidores. Enquanto isso, na Alemanha o governo oferecendo subsídio de acordo com o valor do carro e seu modelo, além de destinar 100 milhões a 200 milhões em eletropostos (pontos de recarga), além de vagas de estacionamento gratuita, lugares reservados e a utilização da via para ônibus são outros dos incentivos adotados na Alemanha (Neo Charge, 2021).

Nos Estados Unidos, o governo anunciou um plano de infraestrutura orçado em 2 trilhões de dólares, dos quais 174 bilhões devem ser destinados à mobilidade elétrica, dentre os objetivos está a consolidação de uma rede nacional de recarga com 500.000 pontos para veículos elétricos até 2030, um valor consideravelmente maior que os pouco mais de 108.000 pontos de carregamento instalados atualmente no país em cerca de 50.000 estações. Ainda, estão previstos novos incentivos financeiros e isenção de taxas para compradores de veículos elétricos fabricados nos Estados Unidos (Governo dos Estados Unidos da América, 2021).

Observa-se que com o avanço da eletromobilidade os governos estão se organizando para a ampliação e fortalecimento da infraestrutura de recarga, com a instalação de novos eletropostos para atender o crescimento exponencial da frota de VEs. No Brasil, a infraestrutura de recarga ainda é um desafio a ser superado para o avanço da eletromobilidade, o segmento dos veículos totalmente conectados à rede elétrica está em gestação, sendo necessário refletir a cerca das ações e mecanismos para estimular a transição para a mobilidade elétrica, no entanto exemplos como dos países com a mobilidade elétrica consolidada podem ser replicados.

Mobilidade Elétrica no Brasil no contexto atual

A expansão de veículos elétricos no Brasil está em seu estágio inicial em comparação aos países desenvolvidos. A adoção de veículos elétricos geralmente é impulsionada por vários fatores, incluindo incentivos governamentais de infraestrutura de carregamento, conscientização ambiental e políticas favoráveis como subsídios de isenções fiscais de emissões e investimentos em infraestrutura de carregamento, essas medidas tem sido cruciais para criar ambientes propício para a aceitação de veículos elétricos (Silva, 2022).

Aos poucos os veículos elétricos vêm ganhando espaço no mercado brasileiro devido ao aumento da conscientização ambiental, os avanços na tecnologia de baterias, os incentivos governamentais e além das iniciativas da indústria automotiva que podem estar contribuindo para essa tendência. A Associação Brasileira do Veículo Elétrico tem divulgado notícias importantes sobre a aquisição de veículos eletrificados no Brasil, em que as vendas de veículos leves eletrificados no Brasil em julho atingiram um novo recorde, com 7.462 emplacamentos a maior de toda a série histórica da ABVE, iniciada em 2012. Esse número representou um aumento de 20% em relação ao mês de junho deste ano (6.225) e de expressivos 138% na comparação com julho de 2022 com 3.136 veículos (ABVE, 2023).

Os números comprovam o quanto a eletromobilidade está ganhando força no Brasil, tanto por uma maior oferta de veículos quanto pela ampliação da infraestrutura de recarga, por meio da instalação de eletropostos públicos e semipúblicos, cerca de 3.500 até junho de 2023. Nos sete primeiros meses de 2023, o mercado de veículos leves eletrificados no Brasil emplacou 39.701 veículos eletrificados, um aumento de 68,5% em relação ao mesmo período em 2022 que foi de 25.536 veículos (ABVE, 2023).

Se a comparação for em relação a 2021, este aumento é de 126%, a participação de mercado (*market share*) dos veículos leves eletrificados no mês de julho foi de 3,5%. Em 2022, este percentual se encontrava na ordem de 1,9%, houve, portanto, um crescimento de 87% em relação ao ano anterior. Segundo a ABVE (2023), nos sete primeiros meses de 2023, o mercado de eletrificados emplacou 39.701 veículos.

Ranking das tecnologias dos veículos elétricos

No ranking da liderança dos modelos mais vendidos (Figura 15), a chinesa GWM, estreante no mercado brasileiro, vem conquistando uma boa posição com seu modelo Haval, tanto na versão PHEV (3º posição em julho) como na HEV (8ª). A BYD também se posiciona bem no ranking, na quinta posição, com o seu modelo Song Plus. O mercado de eletrificados segue sendo liderado pelos modelos HEV Corolla Cross e Corolla Altis (Toyota).

De acordo com o Autoesporte (2023) o HEV (*Hybrid Electric Vehicle*), o “Veículo Elétrico Híbrido”, que se destaca em primeiro lugar combina um motor a combustão a uma ou mais unidades elétricas. Esta sigla, especificamente, designa os híbridos convencionais também conhecidos como híbridos plenos.

Em segundo lugar temos os veículos PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*), o “Veículo Híbrido Plugável” ou híbrido de recarga externa é similar ao HEV, com o diferencial de demandar recarga externa das baterias, em tomadas ou eletro pontos, como se fosse um automóvel 100% elétrico. Isso porque seu banco de baterias costuma ser maior. E em terceiro lugar temos BEV (*Battery Electric Vehicle*), o “Veículo Elétrico a Bateria” é necessariamente um EV que possui um banco de baterias para alimentar os motores, demandando assim uma recarga externa em tomada *Wallbox* ou carregadores rápidos.

Figura 15 - Ranking de modelos de veículos elétricos mais emplacados em julho de 2023 no Brasil.

RANKING	MODELO	MONTADORA	TECNOLOGIA	JULHO
1º	COROLLA CROSS	TOYOTA	HEV	1.015
2º	COROLLA ALTIS	TOYOTA	HEV	626
3º	HAVAL H6	GWM	PHEV	602
4º	TIGGO 5X	CAOA CHERY	HEV	565
5º	SONG PLUS	BYD	PHEV	444
6º	XC60	VOLVO	PHEV	394
7º	TIGGO 8	CAOA CHERY	PHEV	378
8º	HAVAL H6	GWM	HEV	351
9º	KONA	HYUNDAI	HEV	249
10º	TIGGO 7	CAOA CHERY	HEV	220
11º	CAYENNE	PORSCHE	PHEV	187
12º	D1	BYD	BEV	143
13º	DISCOVERY	LAND ROVER	HEV	123
14º	DEFENDER	LAND ROVER	HEV	119

Fonte: ABVE (2023)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A difusão da mobilidade elétrica, o uso de veículos elétricos e híbridos tem se tornado uma resposta inovadora e sustentável aos desafios ambientais e energéticos enfrentados globalmente. No cenário mundial, a crescente conscientização sobre as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir a poluição atmosférica impulsionaram o interesse e investimentos na transição para a ampliação dos veículos elétricos. A busca por fontes de energia limpa e a sustentabilidade têm sido temas de discussões sobre o futuro da mobilidade. Alguns estudos e relatórios destacam o papel dos veículos elétricos na redução da dependência de combustíveis fósseis e na mitigação dos impactos relacionado a queima de combustíveis fósseis. A transição para a mobilidade elétrica é essencial para que muitos países alcancem metas de redução da poluição atmosférica.

No Brasil, o contexto da mobilidade elétrica reflete muitos desafios, mas também oportunidades. Como um país com diversos recursos naturais, o Brasil tem o potencial de gerar eletricidade de fontes limpas para ajudar a alimentar sua frota de veículos elétricos. No entanto, a infraestrutura de carregamento, e questões econômicas juntamente com a necessidade de políticas específicas em áreas que necessitam de maior atenção.

A mobilidade elétrica no Brasil está vinculada não apenas às preocupações ambientais, mas também à busca por autonomia energética e à diversificação de fontes de energia. Além disso, iniciativas de políticas públicas, incentivos fiscais e parcerias entre governo, o setor privado e a sociedade são essenciais para impulsionar a aceitação dos veículos elétricos. O sucesso dessa transição depende não apenas da inovação tecnológica, mas também de esforços para superar desafios na infraestrutura, desafios econômicos e regulatórios. A mobilidade elétrica representa não apenas uma mudança nos meios de transporte, mas o avanço tecnológico, autonomia e sustentabilidade no contexto mundial atual e futuro.

REFERÊNCIAS

AMORIM, J. C. **A tributação automóvel e suas implicações ambientais**. Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto, 2012. Disponível em: <<https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/851>>. Acesso em: 15 de maio 2023.

ANDERSON, J.; ANDERSON, C. **Electric and Hybrid Cars: A History**. McFarland Co., London, UK, 2015.

BACCELLI, O.; GALDI, R.; GREA, G. **L'e-mobility Mercati e policies per un'evoluzione silenziosa**. Milano: Egea, 2017, 185 p.

BALSA, J. M. R. Avaliação do impacto da introdução de veículos elétricos na procura de combustíveis em Portugal. 2013. 91f. **Dissertação** (Mestrado em Gestão) – Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33, p. 207-224, mar. 2011. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1489>. Acesso em: 26 abr. 2023

BARAN, R. A Introdução de Veículos Elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade. 2012. 124f. **Tese** (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CASTRO, B. H. R.; FERREIRA, T. T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 32, p. 267-310, 2010.

COWAN, R.; HULTÉN, S. Escaping Lock-in: The Case of Electric Vehicle. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 53, p. 61-79, 1996.

DELGADO, F.; COSTA, J.; FEBRARO, J.; SILVA, T. **Carros Elétricos**. 7. ed. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2017. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

DOMINGUES, J. M.; PECORELLI-PERES, L. A.; BATISTA, M. S.; SENA, M.; VASCONCELLOS, A. P.; ROCHA, L.; AMINDE, N. **Eficiência energética, tributação e políticas públicas no Brasil: caso do veículo elétrico**. In: Políticas de protección ambiental en el siglo XXI: Medidas tributarias, contaminación ambiental y empresa. Barcelona, ed. bJ. M. Bosch Editor, p. 111-137, 2013.

DAGSVIK, J.K., WENNEMO, T. WETTERWALD, D.G., AABERGE, R. Potential demand for alternative fuel vehicles. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 36, n.4, p. 361-384, 2002.

FONTAÍNHAS, J.; CUNHA, J.; FERREIRA, P. Is investing in an electric car worthwhile from a consumers' perspective?. **Energy**, v. 115, p. 1459–1477, 2016.

ABVE. **Associação brasileira do veículo elétrico**. São Paulo: Site Abve, 2023. Disponível em: <https://www.abve.org.br/vendas-de-eletrificados-leves-disparam-em-julho-e-batem-novo-recorde/>. Acesso em: 17 out 2023.

FORD. **Ford mostra as diferenças da tecnologia dos carros elétricos, híbridos e híbridos plug-in**. São Bernardo do Campo: Ford, 2016. Disponível em: < <https://media.ford.com/content/fordmedia/fsa/br/pt/news/2016/02/23/ford-mostra-as-diferencas-da-tecnologia-dos-carros-eletricos-hi.html>>. Acesso em: 23 abril 2023.

FORD. **Infográfico - Veículos Elétricos: Conheça as diferenças entre Elétrico, Híbrido e Plug-In**. São Bernardo do Campo: Ford, 2019. Disponível em: < <https://media.ford.com/content/fordmedia/fsa/br/pt/news/2016/02/23/ford-mostra-as-diferencas-da-tecnologia-dos-carros-eletricos-hi.html>>. Acesso em: 23 abril 2023.

GALLINA, A. The Transition to the Electric Car: Timing and Reasons. 2023. 81f. **Dissertação** (Mestrado em Administração) – Università Ca' Foscari Venezia, Venezia, Itália, 2023.

GÓMEZ, J. P. E.; ARRUDA, F. S. **Perspectivas da implantação do veículo elétrico no Brasil: o estudo de caso de Brasília**. In: XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, Ouro Preto. 2015. p. 2554-2557.

GOVERNO DOS ESTADOS UNIDOS DAAMÉRICA. **Fact Sheet: Biden Administration Advances Electric Vehicle Charging Infrastructure**. The White House, 2021. Disponível em:<<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/04/22/fact-sheet-biden-administration-advances-electric-vehicle-harging-infrastructure/>>. Acesso em: 15 out. 2023.

HELD, T.; GERRITS, L. On the road to electrification: A qualitative comparative analysis of urban e-mobility policies in 15 European cities. **Transport Policy**, v. 81, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.05.014>.

HOYER, K. G. **The History of alternative Fuels in Transportation: The Case of Electric and Hybrid Cars**, Utilities Policy. Elsevier. v. 16, 2008.

- IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2021: Analysis**. 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>>. Acesso em: 14 out. 2023.
- IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions**. França: IEA Publications International Energy Agency, 2023, 142 p. Disponível em:<<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>> Acesso em: 14 out. 2023.
- LAFUENTE, C. O. Carregador de baterias monofásico para aplicação em veículos elétricos. 2011. 133 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- LEITMAN, S.; BRANT, B. **Build your own electric vehicle**. 2. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2009. ISBN 0071543732, 2009.
- MARTINS, C. N. Infraestrutura de recarga de bateria e subsídios e incentivos fiscais: condições chave para a difusão do carro elétrico. **Desenvolvimento em Debate**, v. 4, n. 1, p. 35-55, 2016.
- NEO CHARGE. **Carros Elétricos: Incentivos fiscais pelo mundo**. São Paulo: Neo Charge, 2021. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/incentivo-fiscal-mundo>>. Acesso em: 15 out. 2023.
- QUATRO RODAS. **Gurgel Itaipu, o suspiro de vanguarda do Brasil entre os carros elétricos**. São Paulo: Quatro Rodas, 2021. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/especial/gurgel-itaipu-o-suspiro-de-vanguarda-do-brasil-entre-os-carros-eletricos/>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- RASKIN, A.; SHAH, S. **The Emergence of Hybrid Vehicles**: Ending Oil's Stranglehold on Transportation and the Economy. AllianceBernstein, 2006. 50p.
- REVISTA CARRO. **Carregador de carro elétrico: conheça os tipos e conectores**. São Paulo: Revista Carro, 2023. Disponível em:<https://revistacarro.com.br/carregador-de-carro-eletrico-conheca-os-tipos-e-conectores/>. Acesso em: 01 abr. 2023
- RODRIGUES, M. C. B. P.; OLIVEIRA, J. G.; FERREIRA, A. A.; BARBOSA, P. G.; BRAGA, H. A. C. Conexão de veículos elétricos à rede de energia elétrica para recarga de baterias: Uma visão geral. **Revista Eletrônica de Potência**, v. 19, n. 2, p. 193-207, 2014.
- SATO, P. **Como funcionam os carros elétricos**. Associação Nova Escola. 2005. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/1088/como-funcionam-os-carros-eletricos>>. Acesso em: 20 abril 2023.
- REVISTA AUTOESPORTE. **Tecnologias de carros elétricos: conheça as tecnologias**. São Paulo: Revista Autoesporte, 2023. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/modelos/byd-dolphin/>. Acesso em: 17 out 2023.
- SANTOS, U. P. Poluição, aquecimento global e repercussões na saúde. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 53, p. 193-194, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0104-42302007000300004>
- SCHWERTNER, C. D. Uma metodologia para o estudo da eficiência energética em veículos elétricos e estações de recarga em eletropostos. 2017. 48 f. **Monografia** (Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- STRUBEN, J.; STERMAN, J. D. Transition challenges for alternative fuel vehicle and transportation systems. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 35 n. 6, p. 1070-1097, 2008.
- SILVA, Affonso Celso Aldeia Caiazzo da; PIZZOLATO, Nélio Domingues. Utilização de veículos elétricos no transporte de carga e os desafios para implementação no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, 2022.

STOPFER, N.; SOARES, A.; CASTRO, N. J.; ROSENAL, R. **A Mobilidade Elétrica na América Latina: tendências, oportunidades e desafios**. 1. ed., Rio de Janeiro: E-papers, 2021, 282 p.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **The History of the Electric Car**. 2014. Disponível em: < <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **How do hybrid electric cars work?**. 2023. Disponível em: < <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

VASCO, M. N. Breve abordagem da viabilidade econômica dos carros 100% Elétricos. 2020. 54f. **Mongrafia** (Curso de Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **How do hybrid electric cars work?**. 2023. Disponível em: < <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

ABVE. **Associação brasileira do veículo elétrico**. São Paulo: Site Abve, 2023. Disponível em: <https://www.abve.org.br/vendas-de-eletrificados-leves-disparam-em-julho-e-batem-novo-recorde/>. Acesso em: 17 out 2023.

NEOCHARGE. **Carregador de carro elétrico: conheça os tipos e conectores**. São Paulo: site Neocharge, 2023. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br>>. Acesso em: 01 jul. 2023.

SILVA, Affonso Celso Aldeia Caiazzo da; PIZZOLATO, Nélio Domingues. Utilização de veículos elétricos no transporte de carga e os desafios para implementação no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, 2022.

WEG. **Carregador de carro elétrico: conheça os tipos e conectores**. São Paulo: site weg, 2023. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/br/pt>>. Acesso em: 04 jul. 2023.

APÊNDICE

Especificações do Carregador de Veículos Elétricos NeoCharge nível 01:

Marca e Linha: NeoCharge Portátil

Modelo: NC300

Potência Máxima: 7,4 kW

Tensão de Operação: 110/230 Vca

Corrente Máxima: 32 A

Marca e Linha: NeoCharge Portátil

Modelo: NC400

Potência Máxima: 22 kW

Tensão de Operação: 220/380 Vca

Corrente Máxima: 32 A

Frequência: 50/60 Hz

Tipo de Conector (Lado Rede | Lado Veículo): 3 Pinos e Industrial 2P+T | Tipo 2

Quantidade de Tomada: 1

Cabo Anexado: Incluso - 5 metros

Instalação: Portátil

Polos: 2P + T

Aterramento: Padrão da instalação

Controle de Acesso: Acesso Livre

Gestão de Energia: Integrado

Comunicação: -

Índice de Proteção: IP54

Temperatura de Operação: -25 ~ +50 °C

Fonte: NeoCharge (2023)

Especificações do Carregador de Veículos Elétricos NeoCharge nível 02:

Marca e Linha: NeoCharge Smart Wallbox

Modelo: NC4000S

Potência Máxima: 22 kW

Tensão de Operação: 380 Vca

Corrente Máxima: 32 A

Frequência: 50/60 Hz

Tipo de Conector: Tipo 2

Quantidade de Tomada: 1

Cabo Anexado: Incluso

Instalação: Parede ou totem

Polos: 3F + N | 1F + N

Aterramento: Padrão da Instalação

Controle de Acesso: Cartão RFID ou acesso livre

Gestão de Energia: Integrado (Wi-Fi - 2,4GHz)

Comunicação: Protocolo OCPP 1.6 J

Índice de Proteção: IP 65

Temperatura de Operação: -30 ~ +50 °C

Proteção Extra: Não incluso

Garantia: 12 meses (já incluindo os 90 dias da garantia legal).

Dimensão: 237 x 343 x 115 mm

Tempo de Carga 1h: Autonomia 120 km

Fonte: NeoCharge (2023)

Organizador

Rômulo Damasclín Chaves dos Santos

Minha trajetória acadêmica e profissional está pautada na busca incessante pela compreensão dos fenômenos físico-matemáticos por meio da Modelagem Matemática e Computacional. Utilizo como “ferramentas” matemáticas a Análise Complexa, Análise Funcional, Equações Diferenciais Parciais, Integrais e Integro-Diferenciais, além da Análise Numérica para interpretar tais fenômenos de maneira aproximada e concisa do mundo físico real. Atualmente, como Pós-doutorando (Voluntário) em Física no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA/SP), concentro meus esforços em Dinâmica Não-Linear, Sistemas Complexos e Caos. Nesse viés acadêmico, obtive o título de Doutor em Matemática Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP/U.Porto) através do Programa de Pós-graduação em Matemática Pura e Aplicada (PDMA-FCUP/U.Porto, 2014 -- 2018), onde durante o doutoramento, optei em continuar na área de Dinâmica dos Fluidos; tendo o título reconhecido e validado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2019). Também possui um Mestrado em Engenharia Mecânica concedido pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI/MG, 2012 -- 2014), com ênfase em Dinâmica dos Fluidos e Máquinas de Fluxo, e uma Graduação em Matemática pela Universidade Federal do Acre (UFAC, 2006 -- 2009), onde foi desenvolvido em paralelo à Graduação um projeto de Iniciação Científica, intitulado “Modelagem Geométrica de Fractais com Programação Orientada a Objeto”. Assim, para além da minha formação acadêmica, estou como Revisor em alguns importantes Periódicos Científicas, a saber, do Journal of Mathematics and Statistics from Science Publications, do International Journal of Theoretical and Applied Mathematics from Science Publishing Group; do Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal from ASTES Journal; do Journal of Applied Fluid Mechanics (JAFM), e da Revista de Matemática da Universidade Federal de Ouro Preto (RMAT - UFOP); e ainda como membro em grupos de pesquisa e em associações profissionais, como o Grupo de Pesquisa em Sistemas Complexos, Dinâmica Não-Linear

e Caos (ITA-SP), na Sociedade Brasileira de Matemática (SBM), na Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional (SBMAC) e na International Association of Engineers and Computer Scientists (IAENG). Minhas áreas de interesse e de pesquisa envolvem e incluem a Modelagem Matemática e Computacional, a Dinâmica dos Fluidos, a Análise Funcional, a Análise Complexa e Numérica, as Equações Diferenciais Parciais, Integrais e Integro-Diferenciais, Turbulência em Fluidos Newtonianos Incompressíveis, a Transferência de Calor por Convecção Mista (Forçada e Natural) e Sistemas Dinâmicos Complexos. Tenho expertise em alguns Métodos Numéricos com sintaxe em linguagem C/C++, Python e Matlab, a saber, o Large-Eddy Simulation (LES), o Smagorinsky Sub-Grid Model, o Spalart-Allmaras Method, o Partially-Averaged Navier-Stokes (PANS), o Detached-Eddy Simulation (DES), o Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations (URANS), o Smoothed-Particle Hydrodynamics (SPH), o Immersed Boundary Method (IBM) e o Centered Finite Difference Method. Sou autor de artigos, livros e capítulos de livros científicos. Na área de Inovação e Tecnologia, possuo registros de programas de computador junto ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial). Contato: damasclin@gmail.com

Índice Remissivo

A

água 138, 139, 140, 144, 145
alcalina 41, 42, 56, 129
atividade 57, 62, 89, 120, 121, 123, 124, 125, 130, 131, 132, 133, 134, 135
automação 82, 89, 92, 93, 98
automóveis elétricos 155, 158, 159
autonomia energética 156, 178

B

baterias elétricas 155, 158
biocida 131
biocorrosão 130, 131, 132, 134
biofilme 131, 133, 134, 135
biogás 71, 72, 76, 78, 79
biomassa 39, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67
biossorção 60, 61, 67
biotecnologia 120
bipolar 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56

C

calibração 26, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 64
capacidade 17, 21, 27, 37, 38, 40, 50, 61, 67, 68, 70, 71, 76, 89, 91, 100, 101, 121, 123, 136
caracterização 27, 28, 41, 43, 44, 45, 46, 51, 59, 63, 127, 129
caraterização 41, 43, 56
carro elétrico 156, 159, 160, 161, 163, 164, 166, 171, 172, 180, 181
chorume 71, 72, 76, 77, 78, 79, 80
climáticas 61, 70, 71, 78
controle 17, 23, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 62, 84, 90, 92, 93, 94, 130, 131, 132, 134, 135, 136, 137
corantes 60, 61, 63, 66, 67, 78, 80
corte 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25

D

delivery 99, 100, 101, 102, 103, 107
desenvolvimento 15, 18, 19, 22, 26, 27, 37, 38, 39, 43,
45, 61, 67, 72, 79, 86, 89, 92, 99, 101, 110, 130, 132,
134, 135, 136, 137, 155, 157, 158, 172
domínio 91, 110

E

econômica 32, 37, 67, 79, 96
ecossistemas 138, 140, 148
efluentes 59, 60, 61, 62, 67, 68, 78
eletrólise 41, 42, 58
eletromobilidade 155, 176
eletroquímica 41, 43, 44, 45, 51, 52, 53, 54, 55, 56
energia limpa 156, 178
ensaio 26, 29, 33, 34, 35, 36, 63, 69
enzimas 119, 120, 121, 122, 125, 126, 127
enzimática 120, 124, 125, 126, 128
equações 109, 110
espaços 109, 110
estudo 22, 26, 34, 36, 37, 43, 59, 61, 66, 67, 72, 91, 93,
99, 102, 107, 110, 130, 131

F

ferramentas 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24,
25, 28, 99, 110
física 138, 139, 140
fúngica 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67

H

hidrogênio 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 49, 51, 53, 58, 134,
135
hidrolíticas 120, 121, 125, 126, 128

I

impactos 37, 40, 42, 61, 67, 71, 74, 78, 89, 96, 132, 137
indústria 13, 14, 15, 19, 26, 36, 37, 39, 42, 59, 60, 61,
63, 67, 78, 88, 89, 92, 97, 121, 125, 128, 136
infraestrutura 155, 156, 158, 169, 171, 172, 175, 176,
178
inovação tecnológica 156, 178
integrais 109, 110
irregular 16, 109, 110, 111, 115, 116, 117

J

jardim 120, 122, 123, 124, 126

M

manejo do solo 138, 140, 146
manutenção 26, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 43, 132,
134, 136
máquina 18, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 35, 82, 83, 91, 93,
94, 95, 96, 97
marmitaria 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107
materiais 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24,
26, 27, 28, 30, 36, 41, 42, 43, 57, 60, 61, 66, 72, 74,
78, 79, 82, 83, 87, 88, 95, 130, 131, 132, 133, 134,
135, 136, 137
meios de transporte 155, 156, 160, 172, 175, 178
mobilidade elétrica 155, 156, 157, 159, 171, 172, 175,
176, 178
motor 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 177
mudanças 53, 70, 71, 74, 78, 135

P

placa 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55,
56, 57
planta 41
políticas públicas 156, 171, 175, 178, 179
processos 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 27, 43, 44,
46, 48, 50, 55, 56, 57, 61, 65, 67, 72, 73, 78, 83, 84,
91, 92, 96, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107,

122, 125, 130, 131, 132, 135
produção 14, 15, 16, 17, 20, 22, 23, 32, 38, 39, 41, 42,
43, 45, 46, 47, 48, 50, 56, 57, 58, 60, 71, 72, 76, 77,
78, 80, 81, 82, 85, 92, 99, 101, 102, 104, 105, 120,
121, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 132, 133,
134, 135

Q

qualidade física 138, 139

R

reciclagem 15, 73, 74, 82, 83, 86, 87, 88, 93, 96, 97
regularidade 109, 110

S

saccharum officinarum 60
sociais 37, 82, 89, 91, 101, 104
software 31, 34, 35, 44, 45, 52, 99, 100, 101, 102, 104,
108
software arena 99, 100, 101, 104
solo 138, 139, 140, 141, 144, 145, 146, 147, 148, 149,
150, 151, 152, 153
sustentabilidade 15, 60, 61, 67, 80, 82, 96, 156, 160,
178

T

tecnológico 155, 156, 178
têxtil 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 78, 122
tratamento 17, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68,
71, 73, 74, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 86, 130, 131, 136

U

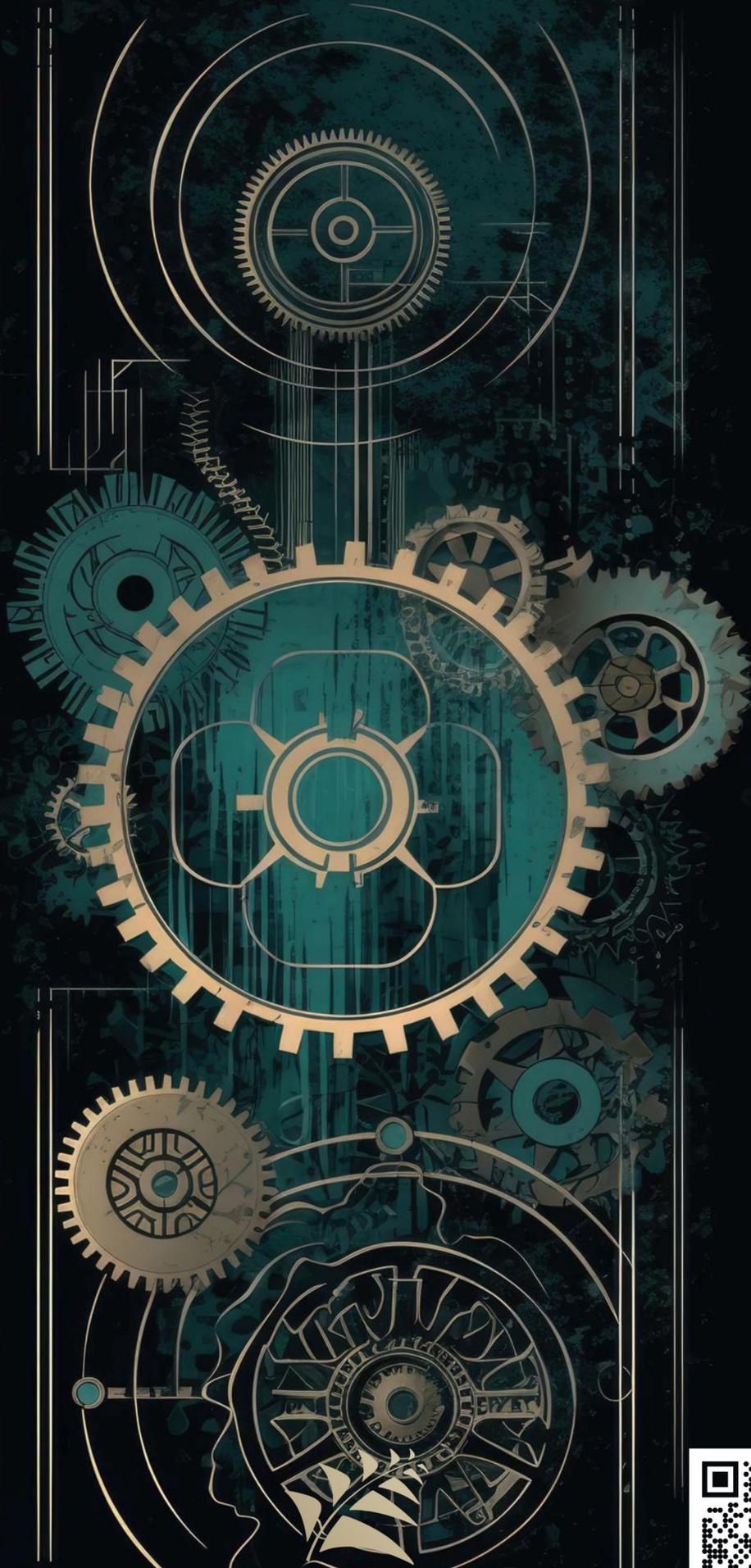
unicidade 110
universal 26, 27, 35, 122

V

veículo híbrido 156

veículos elétricos 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161,
164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173,
174, 175, 176, 177, 178, 180, 181

verde 37, 38, 39, 40, 41, 42, 62, 71, 121, 124



AYA EDITORA

2024

